



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ANALÝZA PRODUKTIVNÍCH TECHNOLOGIÍ PRO VÝROBU VÝVRTU HLAVNÍ

ANALYSIS OF PRODUCTIVE TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF A BARREL BORE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Němec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2025

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Lukáš Němec**
Studijní program: Strojírenská technologie
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.**
Akademický rok: 2024/25

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:

Analýza produktivních technologií pro výrobu vývrtní hlavní

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce se bude zabývat analýzou produktivních technologií pro výrobu vývrtní hlavní pro ruční palné zbraně. Práce bude řešena ve spolupráci se společností Česká zbrojovka a.s., která je součástí holdingové společnosti Colt CZ Group SE. Součástí práce bude charakteristika funkce vývrtní hlavní s rozбором jeho výroby pomocí stávající výrobní technologie. Hlavní část práce bude zaměřena na návrh alternativní výrobní technologie pro vývrtní hlavní pro ruční palné zbraně. V závěru práce bude provedeno technicko-ekonomické zhodnocení a vzájemné porovnání jednotlivých technologií, na jejichž základě bude stanoveno výsledné doporučení.

Cíle diplomové práce:

Teoretický rozbor řešené problematiky – charakteristika funkce vývrtní hlavní.

Rozbor stávající technologie výroby.

Návrh alternativní technologie výroby.

Zhodnocení a doporučení porovnávaných technologií.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

JANKOVÝCH, Róbert. Hlavňové zbraně a střelivo. Brno: Vysoké učení technické, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5.

PÍŠKA, Miroslav. Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.

LIDMILA, Zdeněk, LUKEŠ, Jan, SVOBODA, Emil. Strojírenská technologie II: Technologie ve výrobě zbraní a munice. Brno: Vojenská akademie v Brně, 1999.

MIČIETOVÁ, Anna. Progresívne technológie. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2016. ISBN 978-80-554-1288-7.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá analýzou produktivních technologií výroby vývrtné hlavně pro pistolí CZ P-10 C. Práce je vypracována ve spolupráci se společností Česká zbrojovka a.s. a je zpracována v souladu s ochranou obchodního tajemství společnosti. V práci je nejprve představena samotná společnost a teoreticky rozebrána problematika ručních palných zbraní. V další části práce je proveden rozbor současné technologie výroby vývrtné hlavně, především radiálního kování za studena. Na tuto část práce navazuje návrh alternativní technologie pro výrobu drážkování hlavně. Jako možná alternativa je uvažována technologie *button rifling* a elektrochemické obrábění. V závěru práce je provedeno porovnání tří hlavních vyrobených těmito technologiemi pomocí velké kontrolní zkoušky. Tato zkouška má za cíl ověřit funkci a životnost produktu. Na základě uvedených, ale i neuvedených skutečností je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení, na které navazuje výsledné doporučení. Toto doporučení prosazuje zachování technologie radiálního kování za studena, případně změny v rámci této operace pro část portfolia společnosti a zavedení alternativní technologií *button rifling* pro cenově dostupné polymerové pistole a základní modely malorážek.

Klíčová slova

drážkování, hlavně, kování za studena, protlačování, elektrochemické obrábění

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the analysis of productive technologies of barrel bore production for CZ P-10 C pistol. The thesis is prepared in cooperation with the company Česká zbrojovka a.s. and adheres to the company's trade secret protection policies. The thesis begins with an introduction of the company itself and a theoretical overview of the issue of handheld firearms. The subsequent section provides an analysis of the current barrel manufacturing technology, namely cold radial forging. This is followed by a proposal of alternative technologies for barrel rifling, specifically button rifling and electrochemical machining. In the final part of the thesis, a comprehensive comparative test of three barrels produced using the aforementioned technologies is presented. Based on both disclosed and undisclosed data, a techno-economic evaluation is conducted, leading to the final recommendation. This recommendation supports maintaining cold radial forging technology, potentially with modification for selected segments of the company's product portfolio. Additionally, the adoption of button rifling is proposed for cost effective polymer pistols and entry level rimfire rifles, as it offers potential cost savings without significant compromise in quality or durability.

Keywords

rifling, barrel, cold hammer forging, button rifling, electrochemical machining

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NĚMEC, Lukáš. *Analýza produktivních technologií pro výrobu vývrtnu hlavní*. Online, diplomová práce. Josef SEDLÁK (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/165758>.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Analýza produktivních technologií pro výrobu vývrtní hlavní vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 23.5.2025

Lukáš Němec

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Josefu Sedlákov, Ph.D. za vedení mé diplomové práce a za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování. Zároveň chci poděkovat společnosti Česká zbrojovka a.s., zejména technickému úseku, za možnost vypracování diplomové práce v jejich podmínkách a poskytnutí cenných technických rad a připomínek. Poděkování také patří mé rodině za podporu v rámci celého studia.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 Představení společnosti	10
1.1 Historie	11
1.2 Colt CZ Group SE	13
2 Ruční palné zbraně	14
2.1 Hlavní části pistole	15
2.2 Ráže	17
2.3 Hlaveně	17
2.3.1 Vývrt drážkované hlavně	18
2.3.2 Materiály hlavně	21
3 Rozbor současné technologie výroby	22
3.1 Dělení materiálu a přípravné operace	22
3.2 Hluboké vrtání	23
3.3 Honování	24
3.4 Kování za studena	25
3.5 Tepelné zpracování po kování	29
3.6 Výroba hlavně z polotovaru hlavně	29
3.6.1 Tepelné zpracování – zušlechťení	31
3.6.2 Obrobení nábojové komory	31
4 Návrh alternativní technologie výroby	33
4.1 Varianta 1 – Protlačování	33
4.1.1 Nástroje – tvářecí trn	34
4.1.2 Zařízení	35
4.1.3 Výhody a nevýhody protlačování	35
4.1.4 Úpravy technologického postupu	36
4.2 Varianta 2 – Elektrochemické obrábění	39
4.2.1 Elektrolytický roztok	41
4.2.2 Nástroje – elektroda	42
4.2.3 Zařízení	43
4.2.4 Drážkování vývrtu hlavně pomocí elektrochemického obrábění	44
4.2.5 Úpravy technologického postupu	46
4.2.6 Výhody a nevýhody elektrochemického drážkování	48
5 Technicko-ekonomické zhodnocení	49
5.1 Protlačované drážkování hlavně	49

5.1.1 Ekonomické hledisko protlačování	51
5.2 Elektrochemicky obráběné drážkování hlavně.....	52
5.2.1 Ekonomické hledisko elektrochemického obrábění	55
5.3 Kované drážkování hlavně	55
5.4 Shrnutí	57
ZÁVĚR.....	60

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam příloh

ÚVOD

Hlaveň (obr. 1) je ať už z hlediska legislativy tak také z hlediska konstrukce považována za jednu z hlavních částí zbraně. Tvar hlavě je odvislý od vnitřního vývrtnu, který je rozhodujícím faktorem pro přesnost střelby a celkovou funkčnost zbraně. Výroba takového vývrtnu je však technologicky náročný proces, který v průmyslové výrobě zbraní hraje klíčovou roli. Jakákoliv malá odchylka geometrie nebo kvality vývrtnu může mít zásadní vliv na výkon, životnost a zejména bezpečnost každého produktu.

Zavedení drážkovaného vývrtnu znamenalo z hlediska historie palných zbraní revoluční zlom, který umožnil díky stabilizaci střely dramaticky zvýšit přesnost zbraně. Historicky se pro drážkování vývrtnu využívalo obrábění drážek pomocí jednobřítých nebo vícebřítých nástrojů, od čehož se následně přešlo k tvářecím technologiím, díky kterým se zároveň zlepšily mechanické vlastnosti vývrtnu. V posledních dekadách se do popředí dostávají i netradiční technologie, jako například elektrochemické obrábění.

Při výrobě vývrtnu se výrobci zbraní často setkávají s výzvami kvůli rostoucím požadavkům na kvalitu a přesnost, ale i kvůli neustálému pokroku v oblasti samotných technologií. Nežádka tak musí výrobci vyvážit efektivitu výroby, náklady a zároveň vyrobít hlavě splňující mnohdy náročné normy. Technologie používané k výrobě vývrtnu se liší v závislosti na materiálech, specifikách výroby a požadavcích na výsledný produkt. Tato skutečnost ukazuje na důležitost analýzy dostupných technologií a schopnost jejich zařazení do současného výrobního procesu. Tato diplomová práce se ve spolupráci se společností Česká zbrojovka a.s. takové analýze věnuje.



Obr. 1 Ilustrační obrázek hlavní CZ P-10 C a CZ 457 – podle [1].

1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI

Společnost Česká zbrojovka a.s. je hlavním provozním závodem holdingové společnosti Colt CZ Group SE v Evropě. Česká zbrojovka a.s. (obr. 2) se sídlem v Uherském Brodě vyrábí ruční palné zbraně jak pro komerční využití, tak i pro ozbrojené složky po celém světě. Společnost exportuje své produkty do více než sto zemí světa, některé z nich je možno vidět na exportní mapě (obr 3). [2; 3]



Obr. 2 Letecký snímek areálu společnosti Česká zbrojovka a.s. [2]

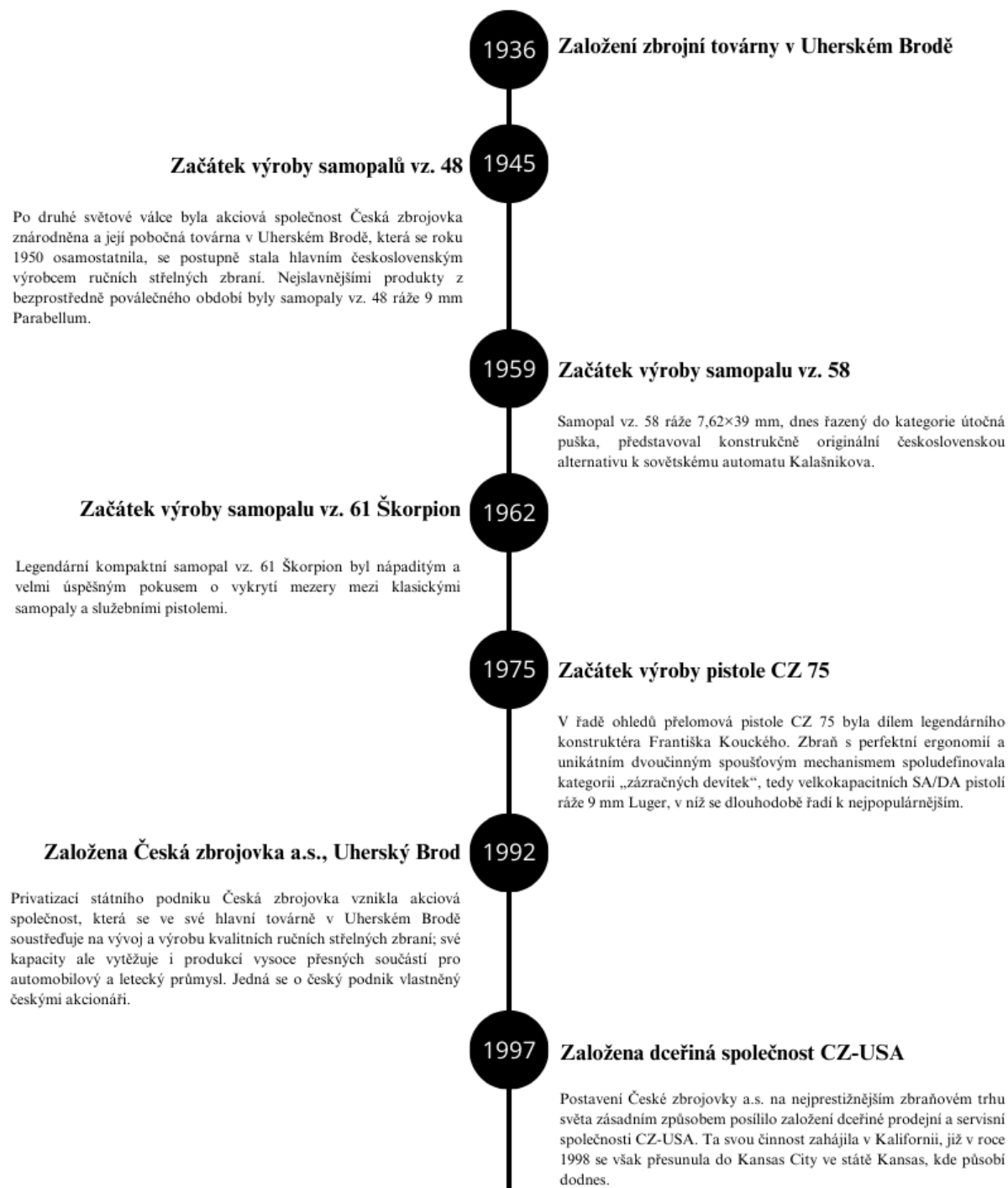
V dnešní době se technický úsek České zbrojovky a.s. dělí do divizí dle produktové řady. Tyto divize jsou celkem tři, a to divize krátkých zbraní, dlouhých zbraní a vojenských zbraní. Každá z nich pracuje na svých vlastních produktech. Součástí každé divize je vlastní výzkum a vývoj, konstrukce, technologie atd.



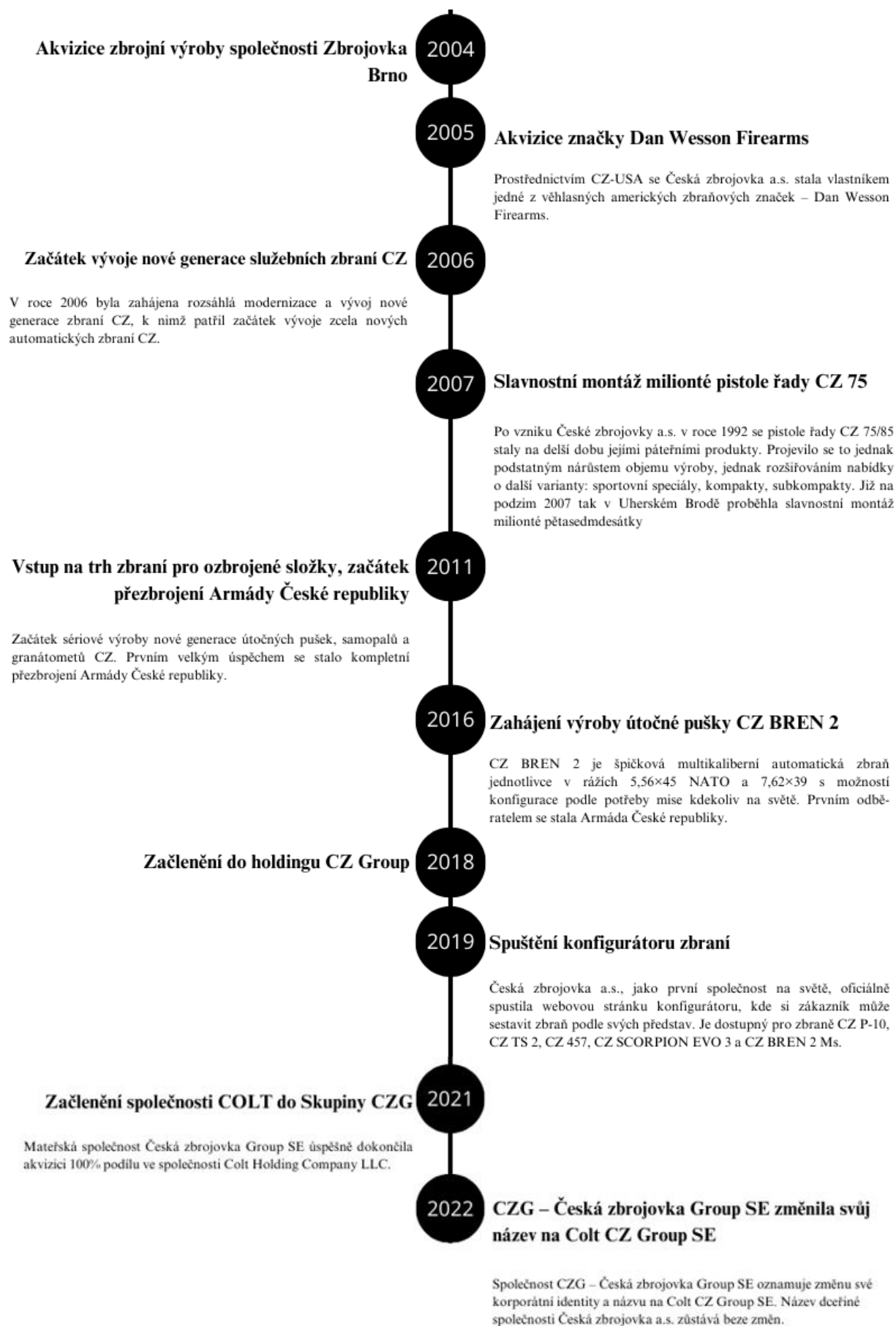
Obr. 3 Exportní mapa České zbrojovky a.s. – podle [3].

1.1 Historie

Historie České zbrojovky a.s. v Uherském Brodě začíná v roce 1936, kdy byla vybudována zcela nová zbrojní továrna pro výrobu leteckých kulometů. Stalo se tak na základě požadavku Ministerstva národní obrany, které hledalo místo co nejdále od německých hranic. Továrna byla rozdělena do několika budov, které při pohledu z letadla vypadaly, jako by celá továrna byla součástí městské zástavby. Po druhé světové válce se pobočka České zbrojovky v Uherském Brodě osamostatnila a stala se hlavním výrobcem ručních palných zbraní v Československu. Mezi stěžejní produkty v poválečných letech patřili zejména samopaly vz. 48 a vz. 58. Kompletní historie České zbrojovky a.s. je pomocí důležitých historických milníků shrnuta na obr. 4 a obr. 5. [3; 4]



Obr. 4 Historické milníky České zbrojovky a.s. 1. část – podle [3].



Obr. 5 Historické milníky České zbrojovky a.s. 2. část – podle [3].

1.2 Colt CZ Group SE

Jak už bylo zmíněno, společnost Česká zbrojovka a.s. je dceřinou společností skupiny Colt CZ Group SE. Skupina sídlí v České republice a ve všech svých závodech zaměstnává dohromady přes 3 600 lidí. Skupina je jedním z předních světových výrobců ručních palných zbraní a munice pro ozbrojené složky, osobní ochranu, sportovní střelbu a další komerční využití. [2] Nejvýznamnějšími dceřinými společnostmi jsou: [2; 5]

- Colt – jedním z předních světových výrobců střelných zbraní se sídlem ve West Hartford ve státě Connecticut v USA. Colt dodává své produkty do ozbrojených složek po celém světě, převážně americké a kanadské armádě. Hlavními výrobky jsou útočné pušky, pistole a revolvery. Společnost je známá i zásluhou své dnes již legendární pistoli Colt 1911 (obr. 6).
- Sellier & Bellot – tradiční výrobce malorážového střeliva pro ozbrojené složky i komerční trh. Produktové portfolio společnosti zahrnuje širokou škálu střeliva pro ozbrojené složky, ale i střelivo pro loveckou a sportovní střelbu. Výrobní závod se nachází ve Vlašimi a zaměstnává přibližně 1 600 zaměstnanců.
- Spuhr i Dalby AB – švédský výrobce se sídlem Löddeköpinge, producent optických montážních řešení pro zbraně. Společnost svým portfoliem ideálně doplňuje hlavní podnikání skupiny. Produktové portfolio se skládá z optických úchytů, vylepšených sad a dalšího příslušenství pro zbraně.
- 4M Systems – společnost sídlící v Praze je zaměřená na navrhování, výrobu a prodej taktického vybavení pro ozbrojené složky.



Obr. 6 Pistole Colt 1911. [5]

2 RUČNÍ PALNÉ ZBRANĚ

Diplomová práce se zabývá analýzou technologií pro výrobu vývrtné hlavně, která je součástí pistole CZ P-10 C, viz obr. 7. V práci bude nejprve teoreticky rozebrána problematika ručních palných zbraní se zaměřením na hlavěň, především na vývrt hlavně. Následně bude proveden rozbor stávající technologie výroby vývrtné kováním za studena a navržena alternativní technologie. V závěru práce bude provedeno technicko-ekonomické zhodnocení.

Palná zbraň je dle zákona o zbraních a střelivu (zákon č. 90/2024 Sb.) definovaná jako zbraň jejíž funkce je odvozena od okamžitého uvolnění chemické energie. Klasifikace zbraní se poté může lišit v tuzemské i zahraniční literatuře. [6]

Klasifikace palných zbraní může vypadat například takto: [7]

- podle způsobu držení zbraně:
 - krátké zbraně – střelba za použití jedné ruky,
 - dlouhé zbraně – střelba za použití obou rukou,
- podle druhu:
 - pistole, revolvery (krátké zbraně),
 - pušky, brokovnice (dlouhé zbraně),
 - samopaly (automatické zbraně konstruované na pistolový náboj),
 - kulometry (automatické zbraně konstruované na puškový nebo speciální velkorážový náboj),
 - speciální zbraně (minometry, granátometry),
- podle ráže:
 - hranice mezi střeleckými a dělostřeleckými zbraněmi je dle armády ráže 20 mm
- podle způsobu uzamčení nábojové komory:
 - uzamčený závěr – závěr uzavírá a uzamyká střelu v nábojové komoře po celou dobu jejího pohybu v hlavni,
 - neuzamčený závěr – od začátku pohybu střely hlavni se závěr začne pohybovat opačným směrem,
- podle stupně automatizace:
 - jednoranné a opakovací – střelec zasouvá jednotlivé náboje do nábojové komory a ručně uzamyká závěr,
 - částečně automatizované – některé úkony jsou vykonány pomocí přivedené energie (otevírání závěru, vyhození nábojnice apod.),
 - samonabíjecí – kromě spuštění je celý funkční cyklus prováděn automaticky
 - automatické – celý funkční cyklus je prováděn automaticky (dokud střelec drží spoušť zbraň střílí automaticky).

Dle klasifikace uvedené výše spadají pistole, tedy i pistole CZ P-10 C, do kategorie krátkých zbraní. Krátká zbraň je zbraň, jejíž celková nejkratší funkční délka nepřesahuje 600 mm nebo délka hlavně nepřesahuje 300 mm. Jedná se o samonabíjecí pistolí s uzamčeným závěrem. Konstrukci zbraně se věnuje následující podkapitola.



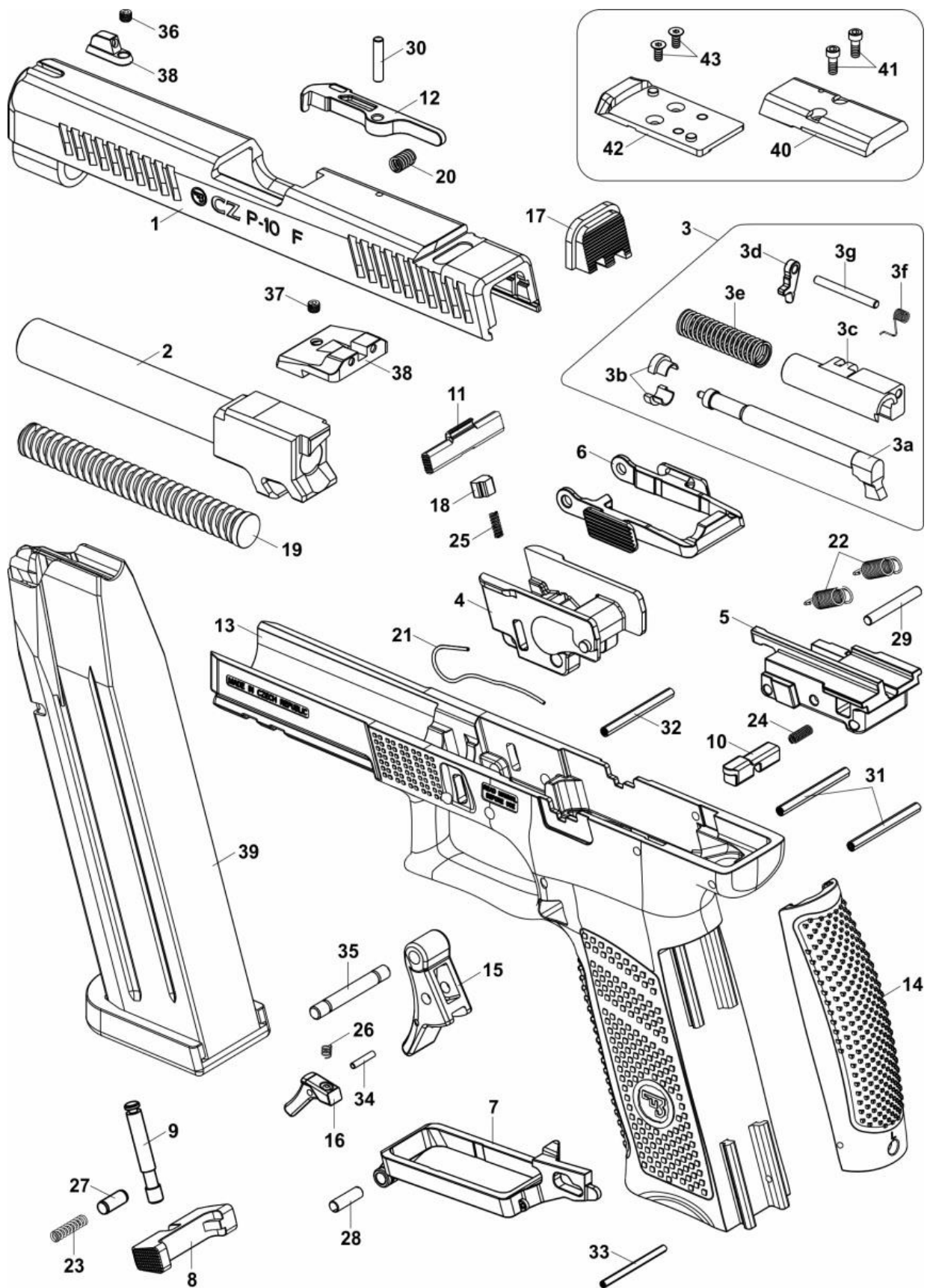
Obr. 7 Pistole CZ P-10 C. [2]

2.1 Hlavní části pistole

Pojem hlavní části zbraně může být opět chápán z více hledisek. Z pohledu zákona (Z 90/2024 Sb.) jsou hlavními částmi zbraně hlaveň, závěr, rám a pouzdro nebo tělo závěru. Tyto části se musí evidovat, což má za cíl co nejvíce eliminovat riziko sestavení nelegální, tedy neevidované zbraně. Z pohledu konstrukce pistole je však hlavních částí více, jsou to zejména díly, které zajišťují správnou funkci dané zbraně. Patří mezi ně kromě výše zmíněných i vratné ústrojí, systém podávání nábojů, vytahovací a vyhazovací mechanismus, spoušťový a bicí mechanismus, případně části k uchopení a ovládnutí zbraně. Díly zbraně jsou zobrazeny na konkrétní pistoli CZ P-10 na obr. 8 a popsány pomocí tab. 1. [6; 7]

Tab. 1 Seznam dílů dle rozkresu na obr. 8. [8]

1	Závěr	19	Pružina vratná
2	Hlaveň	20	Pružina vytahovače
3	Zápalník – sestava	21	Pružina záchyty závěru
3 a)	Zápalník	22	Pružina spoušťové páky
3 b)	Držák pružiny	23	Pružina zádržky zásobníku
3 c)	Kontejner zápalníku	24	Pružina vypínače spoušťové páky
3 d)	Automatická pojistka	25	Pružina demontážní destičky
3 e)	Pružina bicí	26	Pružina pojistky spouště
3 f)	Pružina automatické pojistky	27	Kolík zádržky zásobníku
3 g)	Čep automatické pojistky	28	Čep spoušťové páky
4	Přední blok	29	Kolík pružiny spoušťové páky
5	Zadní blok	30	Čep vytahovače
6	Záchyty závěru	31	Svinutý kolík zadního bloku
7	Spoušťová páka	32	Svinutý kolík předního bloku
8	Zádržka zásobníku	33	Kolík hřbetu
9	Čep zádržky zásobníku	34	Čep vytahovače
10	Vypínač spoušťové páky	35	Čep předního bloku
11	Demontážní destička	36	Šroub mušky
12	Vytahovač	37	Šroub hledí
13	Rám	38	Set mířidel
14	Hřbet	39	Zásobník
15	Spoušť	40	Krytka
16	Pojistka spouště	41	Šroub krytky
17	Krytka závěru	42	Deska kolimátoru
18	Kostka demontážní destičky	43	Šroub desky kolimátoru



Obr. 8 Rozkres pistole CZ P-10 – podle [8].

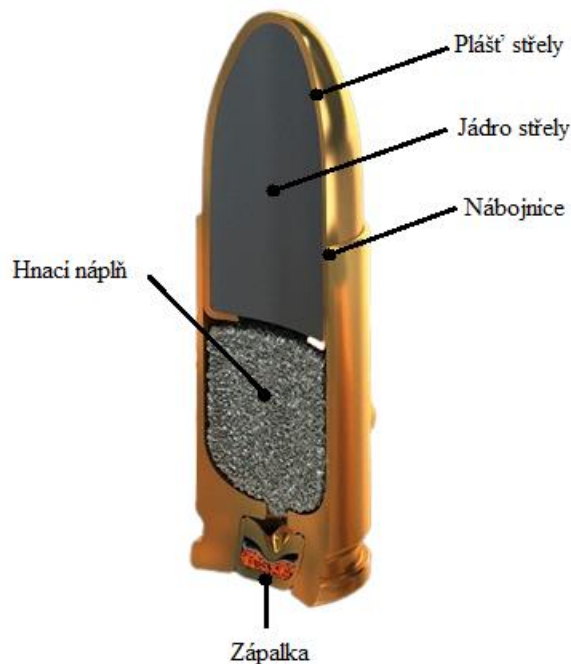
2.2 Ráže

Ráže je jednou z nejdůležitějších charakteristik zbraně. Definování ráže je odlišné v případě kulových nábojů a nábojů pro brokovnice. Pistolové náboje spadají do kategorie kulových nábojů. Ráže kulových nábojů je poté vyjádřena pomocí těchto údajů: [7]

- smluvním průměrem vodící části hlavně,
- technickým popisem střely a nábojnice,
- bližším provedení náboje,
- doplňkovými údaji.

Ráži kulových nábojů je možné poté ještě dělit dle formálního zápisu na metrický a palcový způsob vyjádření ráže. Označení náboje 9 x 19 mm je označení vyjádřeno metricky, kde 9 mm značí smluvní průměr vývrtu hlavně v polích a 19 mm značí délku nábojnice. Někdy se v názvu náboje uvádí také jméno konstruktéra náboje, zbraně nebo výrobce (9 mm Luger), případně se ještě místo jména může uvádět země původu. [7]

Hlaveň pistole CZ P-10 C, která je předmětem této diplomové práce, se v současnosti vyrábí v rážích 9x19 mm, .380 Auto a .45 Auto. Nejčastější a zároveň nejžádanější ráží této zbraně je ráže 9x19 mm. Řez nábojem 9 mm Luger je zobrazen na obr. 9. Rozměry nábojů a s tím i rozměry hlavně, které je nutné bezpodmínečně dodržet při její výrobě specifikuje v České republice norma ČSN 39 5020, která vychází z mezinárodních norem C.I.P (Commission Internationale Permanente). Rozměry pro ráži 9x19 mm dle této normy jsou uvedeny v příloze 1.

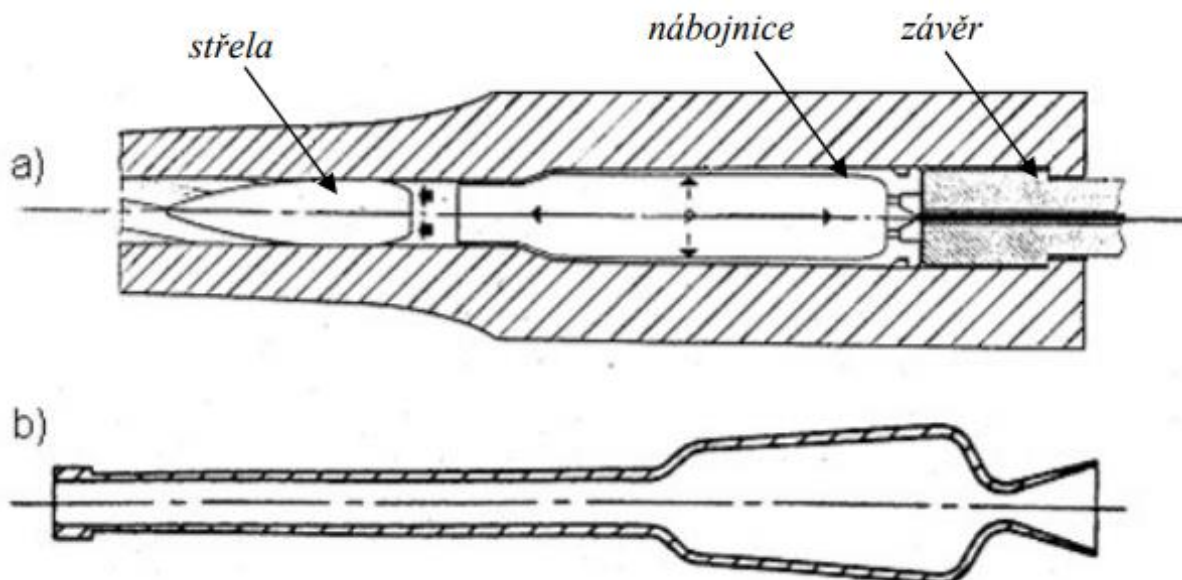


Obr. 9 Řez nábojem 9 mm Luger – podle [9].

2.3 Hlaveň

Hlaveň je jednou z hlavních součástí palné zbraně a slouží k udělení počáteční rychlosti střele v zadaném směru, případně také k udělení stabilizační rotace střele. Z hlediska tvaru se jedná o tlustostěnnou trubku, která musí odolat tlaku prachového plynu při samotném výstřelu. Dle ráže se dělí na dělovou a malorážovou hlavni. Hranice tohoto rozdělení je stanovena na 20 mm. Hlavně ručních palných zbraní spadají do kategorie malorážových hlavní a tato kapitola se

zaměří pouze na tyto hlavně. Z hlediska zákluzu jde o dvě skupiny, zákluzové a bezzákluzové. U bezzákluzové hlavně jsou oba konce hlavně otevřené, viz obr. 10 b), a k eliminaci impulsu výstřelu, tedy zpětného rázu, je použita část tlaku prachových plynů. Naopak u zákluzové hlavně je konec hlavně uzavřen závěrem a druhý konec (ve směru pohybu střely) je otevřen, viz obr. 10 a). [7; 10]

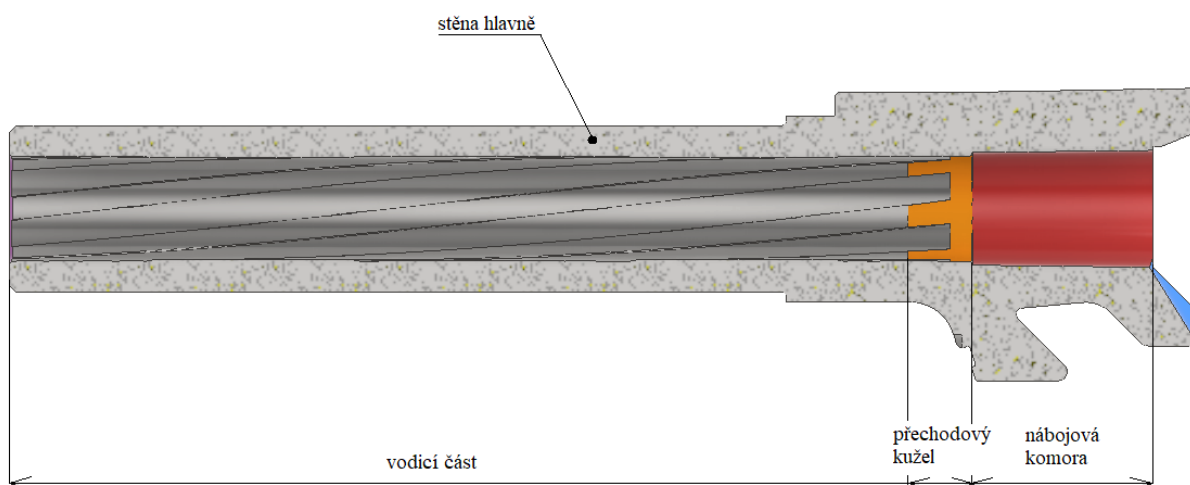


a – zákluzová hlavěň; b – bezzákluzová hlavěň

Obr. 10 Schematické znázornění zákluzové a bezzákluzové hlavně. [7]

2.3.1 Vývrt drážkované hlavně

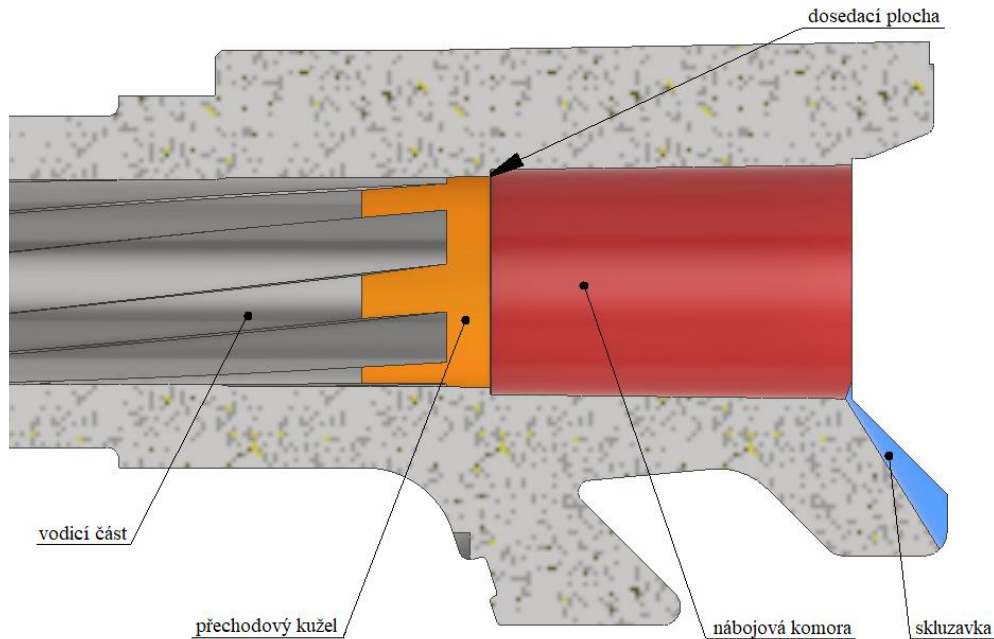
Vlastní tvar hlavně je definován vnitřním prostorem neboli vývrtem hlavně, který je tvořen nábojovou komorou, přechodovým kuželem a vodící částí, viz obr. 11, kde jsou tyto části zobrazeny na konkrétní hlavni CZ P-10 C. Hlavěň musí mít dostatečnou tloušťku stěny, aby odolala všem provozním zatížením. Z důvodu zajištění bezpečnosti má však hlavěň silnější stěnu, než je při běžném používání nutné. V případě neobvykle zvýšeného zatížení (např. při poruše) tak má hlavěň stanovenou zálohu pevnosti a nedojde tak k porušení materiálu. Nejtlustší stěna bývá v místech nábojové komory, protože je zde největší tlak plynů. [7; 10]



Obr. 11 Řez vývrtem hlavně CZ P-10 C.

Nábojová komora a přechodový kužel

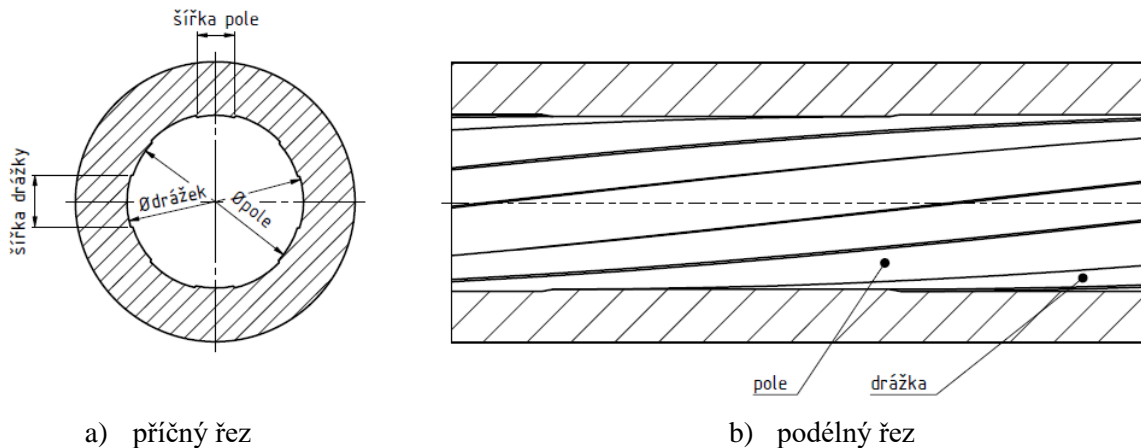
Nábojová komora slouží k uložení náboje před výstřelem. V této části hlavně dochází k zapálení střelného prachu v nábojnici, který vytvoří tlak pro vystřelení střely. Svým tvarem a rozměry odpovídá náboji. Liší se pouze o vůle nutné pro zasouvání náboje při nabíjení a vytažení náboje po výstřelu s přihlédnutím na výrobní tolerance nábojů. Tyto rozměry jsou normalizovány v rámci každé ráže. Přechodový kužel spojuje nábojovou komoru s vodící částí hlavně a jeho hlavní funkcí je, aby střela byla plynule vtlačena do vodící části. U drážkovaného vývrtnu zde začíná drážkování. Kuželovitost přechodového kužele roste se zvyšující se ráží hlavně. Detail nábojové komory u hlavně pistole CZ P-10 C je zobrazen na obr. 12. [7; 10]



Obr. 12 Detail nábojové komory.

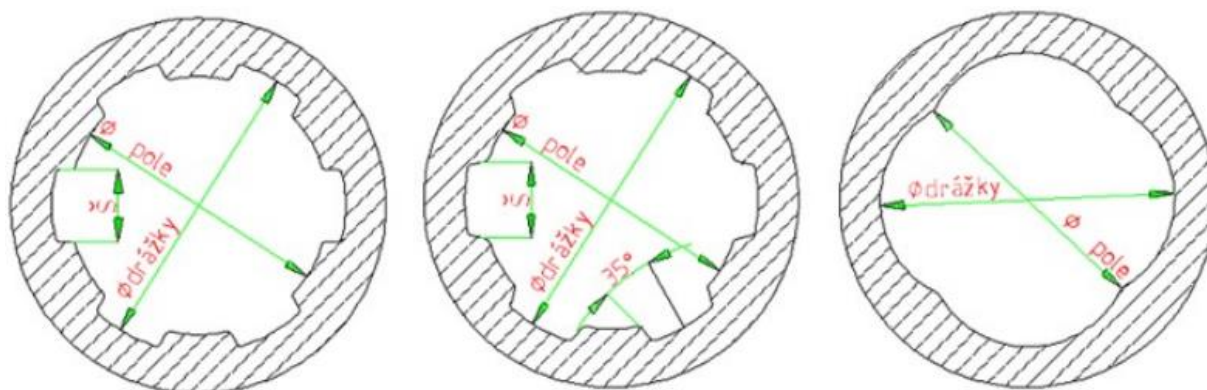
Vodící část

Ve vodící části se v případě drážkovaného vývrtnu jedná o sestavu vodících ploch ve tvaru šroubovice, která má za úkol utěsnit střelu v hlavní zaříznutím do drážek a udělit jí počáteční rychlost a rotaci. Rotace vlivem gyroskopické síly stabilizuje střelu, čímž se zvyšuje přesnost dané zbraně a zároveň i její dostřel. Vnitřní povrch drážkované vodící části je tvořen dvěma hlavními prvky, těmito prvky jsou drážky a pole. Příčný a podélný řez je poté zobrazen na obr. 13. [7]



Obr. 13 Řez drážkovaným vývrtem hlavně – podle [10].

Hloubka drážek v případě malorážových hlavně bývá 1,5 % až 2,5 % průměru ráže. Hloubka drážek má přímý vliv na životnost, kdy příliš malá hloubka snižuje životnost hlavně opotřebením. Naopak příliš velká hloubka drážek způsobí nežádoucí deformaci střely. Počet drážek bývá nejčastěji sudý a profil drážkování může být různý. Pravoúhlý profil (obr. 14 a) je vhodný zejména tehdy, kdy se drážky zhotovují pomocí třískového obrábění. V případě, že jsou drážky zhotoveny tvářením, nejčastěji radiálním nebo rotačním kování za studena, bývá profil lichoběžníkový (obr. 14 b). Dalším hojně používaným profilem drážkování je polygonální drážkování (obr. 14 c), kde je profil drážkování tvořen tečně navazujícími kruhovými oblouky, jejichž střed je mimo osu vývrtnu. Výhodou polygonálního vývrtnu je, že nevyžaduje tak velkou údržbu jako pravoúhlý a lichoběžníkový profil, protože nemá žádné ostré hrany, a zároveň vykazuje větší životnost hlavně. [7]



a) pravoúhlé drážkování

b) lichoběžníkové drážkování

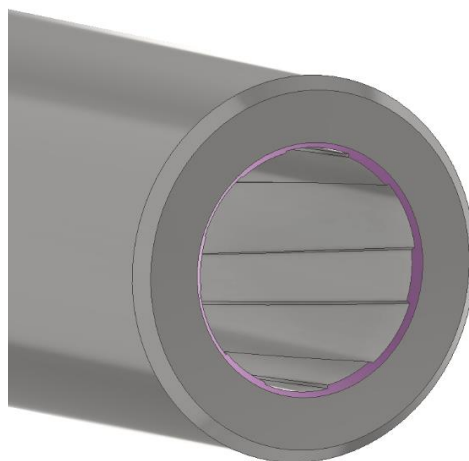
c) polygonální drážkování

Obr. 14 Nejpoužívanější druhy drážkování vývrtnu – podle [11].

Stoupání drážek bývá u většiny zbraní konstantní, i když pomocí dnešních technologií je možno vyrábět i hlavně s proměnlivým stoupáním. Úhel stoupání je volen s ohledem na požadavky na stabilitu střely. Stoupání udává vzdálenost, jakou střela urazí za jedno otočení kolem osy o 360°. Hodnota stoupání je opět stanovena pro danou ráži příslušnou normou, pro ráži 9x19 mm je tato hodnota specifikována na 250 mm. [7]

Ústí hlavně

Ústí hlavně má zásadní vliv na přesnost hlavně. Vnitřní hrana ústí bývá nejčastěji zaoblena větším poloměrem, než je hloubka drážky vývrtnu a nesmí mít žádné ořepy nebo otlaky. V případě deformace ústí hlavně (například při pádu zbraně) může být zásadně ovlivněna funkce, tedy zhoršen rozptyl případně znemožněna střelba. Ústí hlavně je zobrazeno fialovou barvou na obr. 15. [12]



Obr. 15 Pohled na ústí hlavně.

2.3.2 Materiály hlavně

Jak už bylo zmíněno dříve, hlavěň musí odolat tlaku prachových plynů při výstřelu, od čehož se také odvíjí volba materiálu pro výrobu. Se zvyšující se výkonností náboje dané ráže je pro výrobu použito odolnějších ocelí.

Ideální hlavňové materiály musí mít tyto vlastnosti: [13]

- vysoká pevnost (odpovídající požadavkům, obvykle dle dané ráže),
- houževnatost,
- tvrdost,
- žárupevnost,
- chemickou odolnost,
- odolnost proti otěru,
- dobrá obrobiteľnosť.

V praxi se však většinou volí kompromis mezi těmito vlastnostmi. Konkrétní oceli tyto vlastnosti splňují pouze částečně, přičemž nejvíce se těmito vlastnostem blíží slitinové oceli. Hlavňové oceli se na rozdíl od ocelí běžných jakostí odlišují větší rovnoměrností a čistotou struktury materiálu a mají vždy zaručené chemické složení. Pro výrobu malorážových hlavně se používá ocel legovaná hlavně chromem a molybdenem, případně niklem, wolframem a vanadem. Mez pevnosti R_m hlavňových ocelí dosahuje 1000 MPa a omezujícím faktorem je spíše zachování dobré obrobiteľnosti. [13]

Ocel 42CrMo4, ze které se v současné době vyrábí hlavěň pistole CZ P-10 C, je nízkolegovaná ušlechtilá chrom–molybdenová ocel. Patří k nejčastěji používaným ocelím pro zušlechťování. Po zakalení dosahuje tvrdosti až 58 HRC. Po zušlechťování lze dosahovat pevností až 1000 MPa při zachování ještě dostatečné houževnatosti. Díky zvýšenému obsahu síry vykazuje zlepšenou obrobiteľnosť a lze tak díly obrábět i v zušlechťovaném stavu. Navzdory tomu je vhodné obrobky, které se následně zušlechťují na vyšší pevnost, předhrubovat ve stavu žíhaném na měkko. Obsah uhlíku se pohybuje v rozmezí 0,38 – 0,45 hm. %, vzhledem k tomuto obsahu uhlíku není vhodné tuto ocel svařovat. Obsah dalších prvků vystihuje tab. 2. Mechanické vlastnosti jsou zobrazeny v tab. 3. [14]

Tab. 2 Chemické složení oceli 42CrMo4. [14]

Prvek	C	Si	Mn	P
Chemické složení [hm. %]	0,38 – 0,46	max. 0,4	0,6 – 0,9	max. 0,025
Prvek	S	Cr	Mo	-
Chemické složení [hm. %]	max. 0,035	0,9 – 1,2	0,15 – 0,3	-

Tab. 3 Mechanické vlastnosti oceli 42CrMo4. [14]

Mez kluzu R_e [MPa]	Mez pevnosti R_m [MPa]	Tažnost A [%]	Zúžení Z [%]
min. 650	900 – 1100	12	50

Značení 42CrMo4 vychází z DIN normy. Ekvivalentním označením pro tuto ocel je dle ČSN normy ocel 15 142. Dle číselného kódu W. Nr. je poté označení 1.7225. Materiálový list je uveden v příloze 2.

3 ROZBOR SOUČASNÉ TECHNOLOGIE VÝROBY

Tato kapitola se zaměřuje na rozbor stávající technologie výroby hlavně, která je součástí CZ P-10 C. Zvláštní důraz je kladen na rozbor výroby drážkovaného vývrtu hlavně, jelikož pro tuto část výroby se bude v další části práce hledat alternativní technologie. Práce je zpracovávána v souladu s ochranou obchodního tajemství České zbrojovky a.s., a proto zde nejsou uvedeny konkrétní rozměry a parametry výrobních procesů a všechny důležité operace jsou popsány spíše obecněji. Jednotlivé důležité operace jsou zpracovány formou kapitol, v nichž je popsán i princip dané technologie.

Výroba hlavně pistole CZ P-10 C se dá rozdělit do dvou hlavních částí, kdy první technologický postup se zabývá vyrobením polotovaru hlavně. Tento postup začíná nařezáním hutního materiálu a končí po vykování drážkovaného vývrtu. Druhý technologický postup pak zpracovává dříve vyrobený polotovar hlavně, kdy je z tohoto polotovaru vyrobeno více hotových hlavní pomocí obráběcích operací. Zároveň je v tomto technologickém postupu obsaženo veškeré tepelné zpracování a ruční a povrchové úpravy. Pro účely diplomové práce je stěžejní postup výroby polotovaru hlavně.

3.1 Dělení materiálu a přípravné operace

Výroba začíná nařezáním hutního materiálu, kterým je pro tuto hlavěň již zmiňovaná chrom – molybdenová ocel 15 142. Hutním materiálem je kruhová tyč o určitém průměru a délce. Tento materiál je nařezán na kotoučové pile. Po nařezání následuje obrábění konců této tyče. Konce je nutné obrábět z důvodu dalšího upínání, ať už pro hluboké vrtání a zaručení správné souososti díry s povrchem, tak také pro kování za studena a správný náběh kovacíh kladiv. Takto upravený polotovar (obr. 16) je po obrábění konců připraven pro další operaci, čímž je hluboké vrtání.



Obr. 16 Obrobené konce tyčí pro následné upínání.

3.2 Hluboké vrtání

Vrtání hluboké díry přes celou délku polotovaru (více než 50 D) probíhá na šestivřetenové vrtačce, viz obr. 17, především z důvodu úspory nákladů a času. K vrtání je využívána technologie hlubokého vrtání a použitým nástrojem je hlavňový vrták zobrazený na obr. 18. Na vyvrtanou díru jsou kladeny vysoké požadavky z hlediska geometrické a rozměrové tolerance.

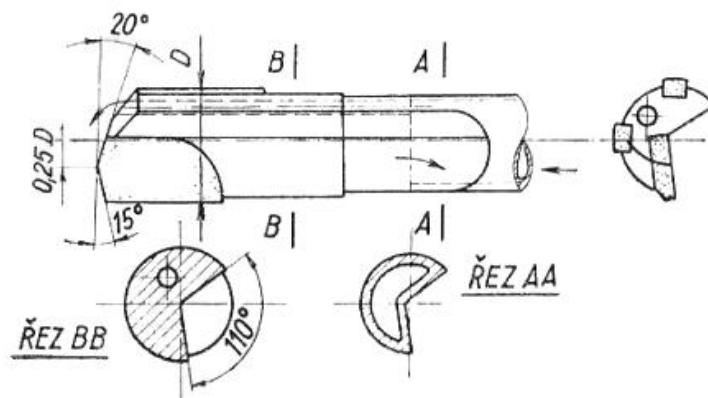


Obr. 17 Šestivřetenová vrtačka.

Hlavňový vrták je víceúcelový jednobřítý nástroj s lomeným ostřím, jehož geometrie je zobrazena na obr. 19. Skládá se ze samotné vrtací hlavy, která může být vyrobena buď z rychlořezné oceli, slinutého karbidu nebo s připájenou břitovou destičkou. Samotná vrtací hlava je poté nejčastěji připájena nebo přivařena na prodlužovací tyč, ovšem existují i monolitní hlavňové vrtáky. Ve středu vrtáku jsou díry, které slouží k přívodu procesní kapaliny do místa řezu. Po celou dobu vrtání jsou třísky vyplavovány ven z řezu pomocí vnější „V“ drážky v prostoru mezi stěnou této drážky a povrchem vrtané díry, viz obr. 3.5. V případě větších průměrů vrtáků se může odvod třísek zajišťovat pomocí středové díry a přívod procesní kapaliny pomocí vnější drážky. Při použití hlavňového vrtáku lze dosahovat rozměrové přesnosti IT 8–10 a drsností povrchu 0,1 – 3,2 μm . [13; 15; 16]

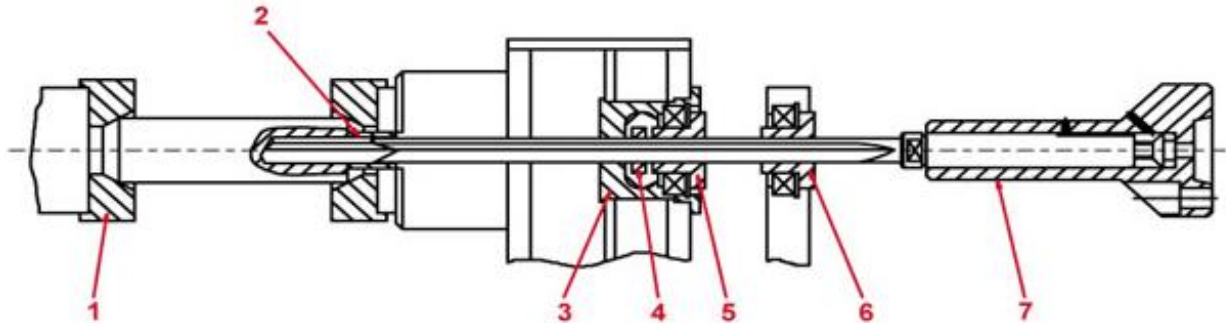


Obr. 18 Hlavňové vrtáky – podle [17].



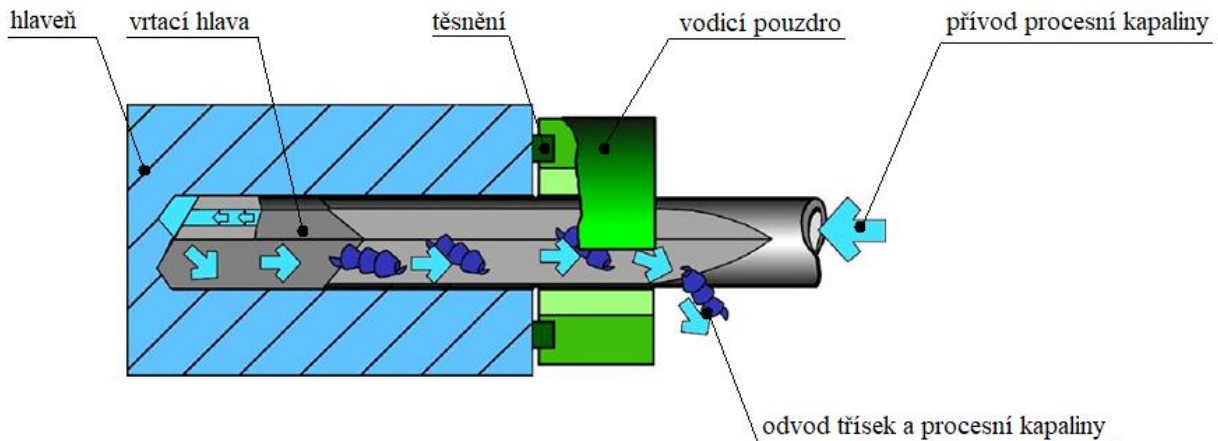
Obr. 19 Geometrie hlavňového vrtáku – podle [16].

Samotný proces hlubokého vrtání hlavňovým vrtákem přibližuje obr. 20, na kterém lze vidět veškeré příslušenství potřebné pro tuto technologii a na obr. 21 je detailněji zobrazen proces v místě řezu a taktéž výše zmíněný odvod třísek a přívod procesní kapaliny. Hlavní řezný pohyb koná obrobek prostřednictvím kuželového unášče. Vrták nerotuje, ale pouze se posouvá v místě řezu a koná tak vedlejší řezný pohyb.



1 – unášecí kužel; 2 – vrtací pouzdro; 3 – těsnicí pouzdro; 4 – těsnicí disk; 5 – pevná luneta pouzdra; 6 – luneta; 7 – držák nástroje (s rotujícím přívodem procesní kapaliny)

Obr. 20 Příslušenství pro hluboké vrtání hlavňovým vrtákem. [18]



Obr. 21 Proces hlubokého vrtání hlavňovým vrtákem – podle [19].

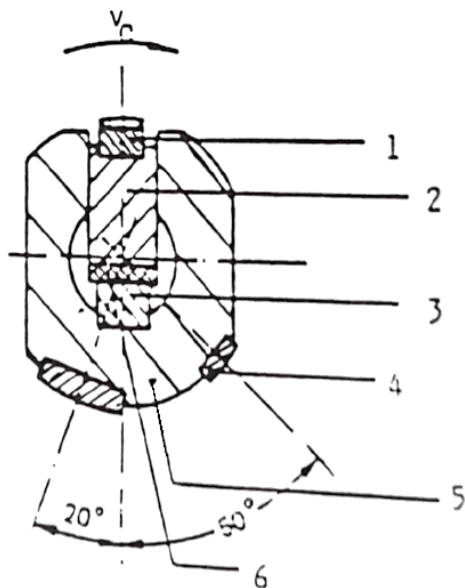
3.3 Honování

Rozměrová přesnost vyvrtané díry je po vyvrtání hlavňovým vrtákem dostatečná pro radiální kování, avšak drsnost povrchu je ještě nutné zlepšit dokončovací operací, kterou je honování. Vyvrtaný polotovar postupně prochází třemi honovacími vřeteny (na hrubo, na čisto a dokončovací), čímž získá požadované parametry drsnosti povrchu.

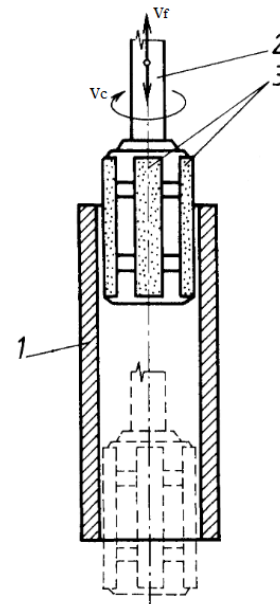
Honování spočívá v broušení jemným brusivem při malých řezných rychlostech a intenzivním chlazení. Nástrojem je honovací hlava s honovacími kameny. Honovací kameny konají ve vyvrtané díře šroubovitý pohyb (obr. 23). Tento pohyb je složený z rotačního pohybu řeznou rychlostí v_c a přímočarého pohybu vratného v ose honované díry posuvovou rychlostí v_f . Díky tomuto pohybu vznikají na povrchu pro tuto technologii typické křížové stopy. Honováním dosahujeme drsnosti povrchu v rozmezí 0,2 – 0,4 μm , což pro přípravu díry pro rotační kování zcela dostačuje. [20]

Honování hlubokých otvorů, jímž honování vývrtu hlavně bezpochyby je, vyžaduje specifický přístup oproti honování běžných ploch, avšak vychází ze všeobecných zákonitostí honovacího procesu. Pro honování malých průměrů (2,5 – 30 mm) se využívá honovací hlavy s jednou honovací lištou a dvěma vodicími lištami. Zvláštností konstrukce honovací hlavy je

nesymetrické uložení obou vodicích lišt na protější straně vůči honovací liště. Toto uložení je zobrazeno v řezu na obr. 22. Lze použít i speciálně konstruované honovací nástroje s větším počtem honovacích kamenů pro zvýšení úběru. Počet těchto kamenů je však v případě takto malých děr omezen maximálně na tři.[13]



1 – honovací lišta; 2 – nosná lišta (držák);
3 – opěrná lišta; 4 – vodicí lišta; 5 – těleso; 6 – klín
Obr. 22 Řez honovací hlavou – podle [13].

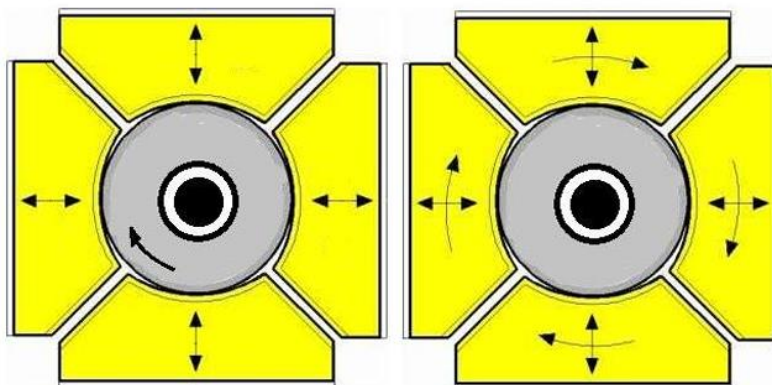


1 – obrobek; 2 – honovací hlava;
3 – honovací kameny
Obr. 23 Proces honování – podle [21].

3.4 Kování za studena

Vyvrtný a vyhonovaný polotovár je připraven pro následné radiální kování za studena, kdy se ve vývrtu zhotovují drážky ve šroubovici pro vedení střely (viz kapitola 2.3.1). Pro ráži 9 mm Luger se zhotovuje 6 drážek se stoupáním 250 mm (1:10). Kove se pouze drážkovaný vývrt, avšak technologií radiálního kování je možno vykovat i nábojovou komoru, což se ovšem u tohoto konkrétního polotovaru hlavně nevyužívá.

Lze rozlišovat radiální a rotační kování, viz obr. 24. V případě radiálního kování koná nástroj, jímž jsou kovací kladiva (obr. 25), přímočarý vratný pohyb a obrobek spolu s kovacím trnem (obr. 26) koná rotační pohyb. U rotačního kování koná nástroj přímočarý vratný pohyb spolu s rotačním pohybem. Součást s trnem se poté pouze posouvá v ose vývrtu. U GMF koncepcí kovacího stroje se využívá radiální kování. [22]



Obr. 24 Vlevo – radiální kování, vpravo – rotační kování – podle [23].

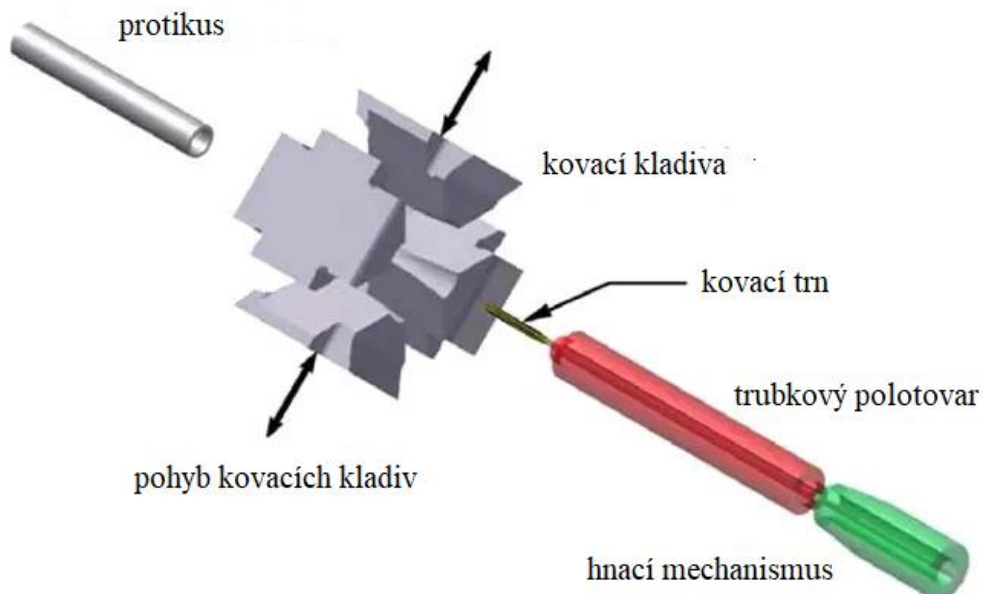


Obr. 25 Kovací kladivo. [23]



Obr. 26 Kovací trn. [24]

Proces radiálního kování, viz obr. 27, začíná tím, že se vyhonovaný polotovár upne do čelistí a do díry se zasune kováčský trn. Trn je nejčastěji vyroben ze slinutého karbidu a má negativní tvar drážkovaného vývrtnu. Kování začíná od ústí hlavně. Do prostoru mezi kováčskými kladivy je zasunut zkosený okraj trubkového polotovaru. Kováčská kladiva poté 1000–1600 úderů za minutu postupně překovávají celou délku hlavně. V případě, že by se kovala celá hlaveň včetně nábojové komory, následuje po vykování drážkovaného vývrtnu rozevření kováčských kladiv a dokování komory na větší průměr dle trnu. Kováčský stroj používaný pro radiální kování v rámci společnosti je uveden na obr. 28. [13]

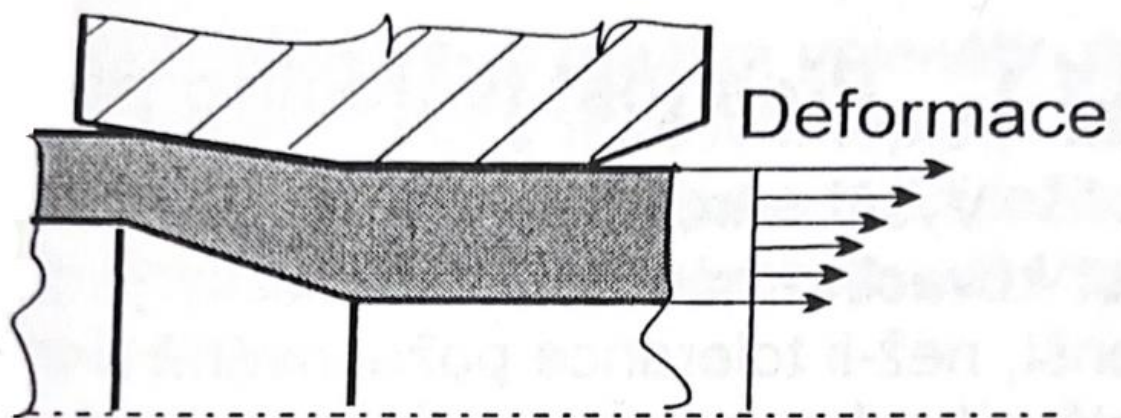


Obr. 27 Princip radiálního kování drážkovaného vývrtnu hlavně – podle [25].



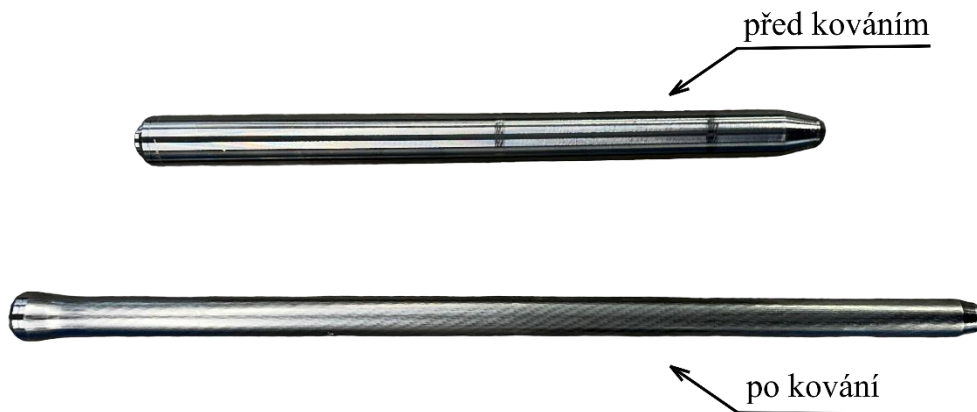
Obr. 28 Kovací stroj.

Při samotném procesu kování je poměrně složité popsat tečení deformovaného materiálu. Kovací kladiva působí v radiálním směru, ovšem materiál teče jak v radiálním směru, tak ve směru osovém, tedy kolmo na radiální směr. Velikost samotné deformace není po průřezu kované hlavně konstantní. Největší deformace je na povrchu hlavně a ve směru k ose hlavně se postupně snižuje, viz obr. 29. Tato skutečnost znamená, že příčné průřezy nezůstávají konstantní a v případě překročení kritické velikosti deformace dochází ke vzniku trhlin v materiálu. [26]



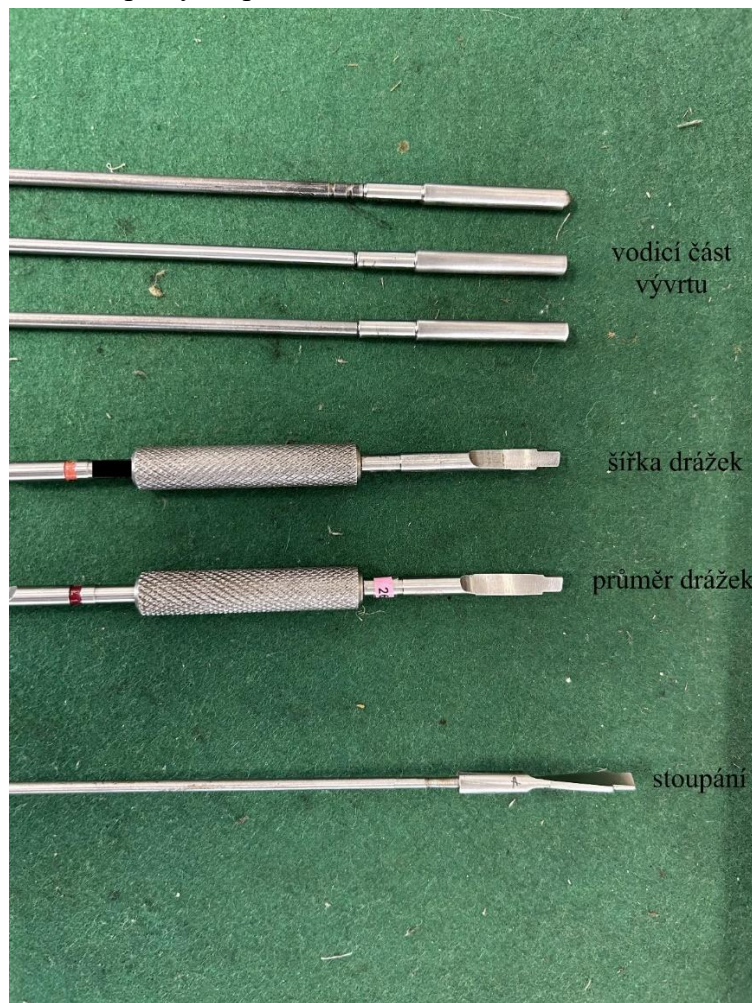
Obr. 29 Nerovnoměrnost deformace vlivem radiálního kování. [26]

Porovnání výkovek před kováním a po kování je zobrazen na obr. 30. Po kování je patrné značné prodloužení polotovaru a zmenšení průměru vůči rozměrům před kováním.



Obr. 30 Srovnání polotovaru hlavně během procesu radiálního kování.

Přesnost na vnějším povrchu výkovku je ve stupni přesnosti IT11. Ovšem vnější povrch bude ještě v budoucnu obráběn, a tudíž na této toleranci vůbec nezáleží. Důležitý je drážkovaný vývrt hlavně, který bývá obvykle zhotoven ve stupních přesnosti IT 6–8. Co se týče srovnání radiálního kování vůči třískovým technologiím pro zhotovení drážek, kovaná hlaveň vykazuje lepší mechanické vlastnosti. Při kování je však do materiálu vnášeno vnitřní napětí, které je nutno následně odstranit tepelným zpracováním součásti. [26]



Obr. 31 Kalibry pro měření drážkovaného vývrtu.

Vykované polotovary hlavní se kontrolují pomocí 4 typů kalibrů. Tyto kalibry jsou uvedeny na obr. 31. Kontroluje se především průměr vodící části vývrtu na což se používá válcových kalibrů odstupňovaných po setině milimetru v rámci výrobní tolerance. Válcové kalibry jsou zobrazeny na obr. 31 nahoře. Dále se kontroluje průměr a šířka drážek ve vývrtu, k čemuž se využívá profilovaných kalibrů, tyto kalibry jsou na obr. 31 uprostřed. V poslední řadě je taktéž kontrolováno stoupání drážek. K tomu se používá profilované měrky, na obr. 31 je zobrazena dole. Všechny tyto kalibry jsou prodlouženy pomocí tyče pro možnost kontroly v celé délce polotovaru hlavně.

3.5 Tepelné zpracování po kování

Po vykování drážkovaného vývrtu je nutné výkovek tepelně zpracovat, především z důvodu odstranění vnitřního napětí vzniklého při kování, a připravit pro následující obrábění. Odstranění vnitřního napětí přispívá k minimalizaci rozměrových a strukturálních změn vlivem následujících obráběcích operací.

Tepelné zpracování probíhá za teploty nižší než teplota rekrystalizace, a tudíž při tomto tepelném zpracování nedochází k přeměně struktury materiálu. Proces stabilizačního žíhání je následující:

- Náběh na teplotu 570 – 580 °C.
- Výdrž na teplotě 1 – 2 hodiny.
- Pomalé ochlazení v pecní atmosféře.

Pro zabránění vzniku napětí v materiálu vlivem nerovnoměrného rozložení teplot je nutné jej pomalu ochlazovat. Stabilizaci je vhodné provádět v ochranné atmosféře, aby nemohlo dojít k oxidaci povrchu, případně lze použít i vakuovou pec.

Po tepelném zpracování a následné konzervaci je dokončen technologický postup výroby polotovaru hlavně.

3.6 Výroba hlavně z polotovaru hlavně

Druhý technologický postup, kdy se z polotovaru hlavně vytváří hlaveň, není pro účely této diplomové práce zásadní, a jelikož se skládá z mnoha operací, bude zde pouze nastíněn postup výroby a popsány zásadní operace.

Technologický postup začíná na soustružnicko-frézovacím centru, viz obr. 32. Je zde vyhrubován soustružením a frézováním vnější tvar hlavně s určitým přídávkem. Válcová část hlavně je soustružena z důvodu udržení souososti s vývrtem hlavně.

Po vyhrubování vnějšího tvaru hlavně je nutné zkontrolovat rovinnost vývrtu. Po obrábění zároveň následuje třídění hlavní na vzhled vývrtu. Následují operace ručních úprav a broušení některých částí vnějšího povrchu hlavně po nichž následuje další obráběcí operace na obráběcím centru (obr. 33), kde se dokončují tvary a plochy na kterých ještě zůstaly přídávky s výjimkou nábojové komory a uzamykacího rozměru, který se dokončuje až po tepelném zpracování. Po obrobení se hlaveň opět nesčetně krát ručně upravuje, kontroluje, třídí atd. Kontroly jsou nutné hlavně pro zjištění, zda se na hlavní nevyskytují příčné či podélné trhliny, které by při běžném používání zbraně mohly způsobit problémy.



Obr. 32 Soustružnicko-frézovací centrum.



Obr. 33 Frézovací centrum.

3.6.1 Tepelné zpracování – zušlechťení

Posledním nutným krokem před obráběním nábojové komory je tepelné zpracování čímž je v tomto případě zušlechťení. Zušlechťením se rozumí kalení a následné vysokoteplotní popouštění. Ohřev na kalicí teplotu se provádí stupňovitě s určitou výdrží na každém stupni ohřevu pro důkladné prohřátí celého objemu hlavně. Rovnoměrné prohřátí celého objemu znamená taktéž snížení zbytkového vnitřního napětí po tepelném zpracování.

Průběh stupňovitého kalení je následující:

- Náběh na teplotu 640 – 680 °C.
- Výdrž na teplotě 20 – 30 minut.
- Náběh na teplotu 820 – 860 °C.
- Výdrž na teplotě 20 – 30 minut.
- Chlazení dusíkem.

Bezprostředně po kalení následuje vysokoteplotní popouštění neboli zušlechťování, kdy je hlaveň opětovně zahřáta na teplotu nižší, než je A_{c1} , výdrž na této teplotě a pomalé ochlazení. Teplota A_{c1} je dle materiálového listu oceli 42CrMo4 745 °C. Popouštění zvyšuje houževnatost martenzitické struktury získané zakalením a zároveň slouží ke snížení vnitřního napětí. Samotný proces popouštění je možno provést opakovaně k zajištění požadovaných vlastností.

Průběh vysokoteplotního popouštění:

- Předehřev 130 – 250 °C.
- Náběh na teplotu 500 – 580 °C.
- Výdrž na teplotě 90 – 120 minut.
- Ochlazení na vzduchu.

Po tepelném zpracování následují další kontrolní operace, kdy se vyjma ostatních charakteristik hlavně kontroluje i tvrdost na předem stanovených místech hlavně. Hlaveň by po tepelném zpracování měla dosahovat tvrdostí cca 40 HRc. Mez pevnosti by měla dosahovat až 1200 MPa.

3.6.2 Obrobení nábojové komory

Obrábění nábojové komory probíhá na CNC horizontálním soustruhu, viz obr. 34. Pro samotné obrábění je použito několik výhružníků a výstružníků. Komorový výstružník je určen k přesnému tvarování a dokončování nábojové komory a jeho tvar je specifikovaný tvarem dané nábojové komory. Zatímco výhružníky slouží k odebrání co největšího objemu materiálu, komorový výstružník má za úkol finálně obrobít nábojovou komoru v požadovaných rozměrových tolerancích a drsnosti povrchu.

Zajištění hladké nábojové komory je nutné především z důvodu bezpečnosti, například v případě zadření nábojnice může dojít až kablokování zbraně. Hladká nábojová komora také zamezuje hromadění zbytků střelného prachu, sazí a případně i dalších nečistot, které by v náročnějších podmínkách také negativně ovlivnily správnou funkci hlavně. V neposlední řadě taktéž přispívá k snadnému vytažení nábojnice po výstřelu.

Komorové výstružníky (obr. 35) mohou být vyrobeny jak z HSS, tak ze slinutých karbidů. Výstružníky ze slinutých karbidů dávají větší smysl z hlediska objemu výroby. Pro přesné zavedení výstružníku je využíváno pilotního nadstavce, který odpovídá průměru vývrtnu hlavně v jeho vodící části. Pilotní nástavec svou geometrií také zajišťuje dopravu oleje nebo procesní kapaliny do místa řezu pomocí malých drážek. Procesní kapalina je do místa řezu dopravována od ústí přes celý vývrt hlavně až k výstružníku. Byla by zde také možnost dopravovat procesní kapalinu pomocí vnitřní díry v samotném výstružníku, tato možnost však značně oslabuje celý nástroj. [27]



Obr. 34 CNC horizontální soustruh.



Obr. 35 Komorový výstružník. [28]

Ke kontrole nábojové komory se využívá množství různých kalibrů a měrek pro dosažení odpovídající přesnosti a kvality. Po obrobení ještě následují další operace, jako leštění daných ploch, řada vzhledových kontrol, kartáčování a řada dalších operací pro přípravu povrchu pro samotnou povrchovou úpravu. Povrchovou úpravou je v podstatě celý technologický postup ukončen.

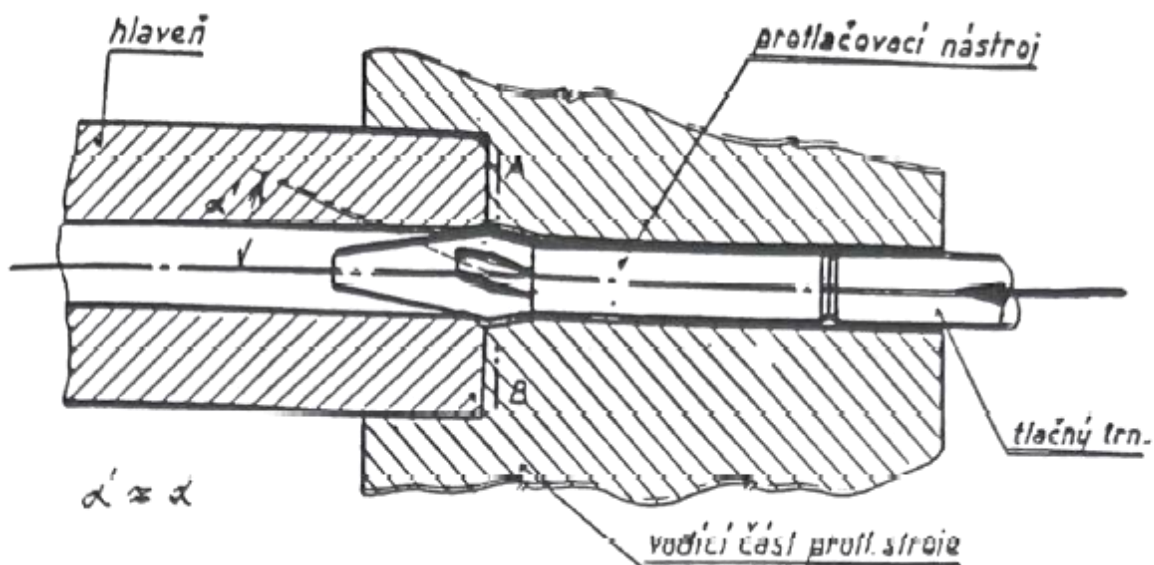
4 NÁVRH ALTERNATIVNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY

Tato kapitola se zabývá návrhem alternativní technologie pro výrobu drážkovaného vývrtu hlavně pistole CZ P-10 C. Česká zbrojovka a.s. disponuje stroji pro radiální kování drážkovaného vývrtu (viz předchozí kapitola) a má dlouholeté zkušenosti se zpracováním hlavní touto technologií. Zároveň ovládá i veškeré další technologie nezbytné pro přípravu polotovaru ke kování. Tyto operace však patří k nejdražším v celém technologickém postupu, a proto se zvažuje, zda by nebylo možné hlavně vyrábět jinou technologií, která by snížila výrobní náklady, a zároveň minimálně zachovala, případně i zlepšila kvalitu a životnost vyráběných kusů.

4.1 Varianta 1 – Protlačování

První uvažovanou technologií, která by mohla nahradit radiální kování, je protlačování tvářecího trnu, spíše známé pod anglickým názvem *button rifling*. Tato technologie je v současné době velmi rozšířená v USA ve výrobě právě malorážových hlavních, kde je považována za velmi produktivní metodu.

Protlačování tvářecího trnu je technologie tváření za studena. Princip této technologie zachycuje obr. 36 a spočívá v protlačování profilovaného tělesa neboli tvářecího trnu vyvrtaným otvorem trubkového polotovaru. Průchodem tvářecího trnu je zhotoveno drážkování vývrtu na jeden průchod.



Obr. 36 Protlačování drážkování tvářecím trnem. [13]

Trn je upnut do drážkovací hlavy, která je připevněna k vysokopevnostní dlouhé tyči, která slouží jako prodloužení pro protlačení celé délky hlavně. Druhý konec tyče je pak upnut do hydraulického nebo elektromechanického beranu. Drážkovací hlava otáčí součásti v požadovaných otáčkách pro vytvoření drážek ve šroubovici o daném stoupání a zároveň je tvářecí trn hydraulickým beranem tlačěn do díry (v některých případech může být trn i tažen). Předtím, než začne samotné protlačování je nutné, aby byla díra připraveného polotovaru řádně namazaná. Přesné složení těchto lubrikantů si většinou všichni výrobci hlavních chrání, protože má nezanedbatelný vliv na kvalitu výsledného drážkování. I když při této technologii nevzniká žádné teplo, které by ovlivnilo strukturu materiálu, samotný proces probíhá za působení vysokých tlaků (běžně kolem 400 MPa). Z tohoto důvodu je nutné následně tepelné zpracování k uvolnění vnitřního napětí v materiálu, stejně jako v případě radiálního kování. [13; 29]

4.1.1 Nástroje – tvářecí trn

Tvářecí trn je profilované těleso, jehož tvar je negativem drážkování hlavně, viz obr. 37. Trn je vyráběn slinováním karbidu wolframu a ve většině případů je opatřen povlakem, který výrazně přispívá k prodloužení životnosti tvářecího trnu.

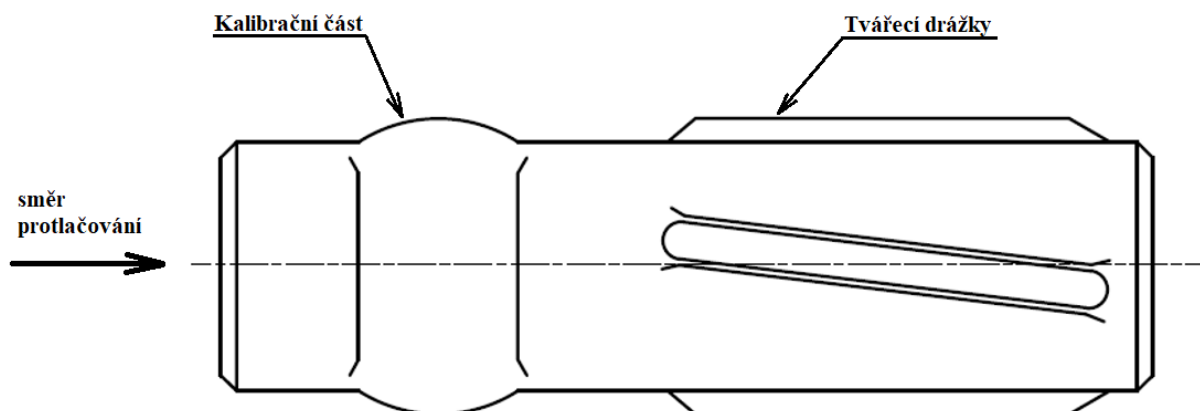
Hlavním úkolem tohoto povlaku je: [13]

- snížení tření,
- zvýšení odolnosti proti opotřebení a otěru,
- zlepšení drsnosti povrchu hlavně.



Obr. 37 Tvářecí trn – podle [30].

V praxi se používají dva typy tvářecích trnů. Zaprvé je možno využít trn, který tváří pouze samotné drážky ve vodící části vývrtu. Nevýhodou je, že tváření tímto trnem způsobí, že na přechodu drážek a pole vznikají přetoky, které je nutné ještě následně dokončit pomocí jiné technologie, nejčastěji proleštěním. Zejména kvůli tomuto problému se tyto trny využívali historicky. Nyní se v praxi využívá spíše tvářecích trnů, které disponují ve své druhé části ještě kalibrační částí, která tyto přetoky zatlačuje zpět do materiálu a zároveň dokončuje průměr pole. Schematický náčrt tohoto typu trnu je zobrazen na obr. 38. Díky tvářecímu trnu s touto geometrií poté odpadá nutnost dokončovat vodící část vývrtu. [31]



Obr. 38 Náčrt tvářecího trnu s kalibrační částí – podle [13].

Zároveň je nutné, aby geometrie tvářecího trnu byla zvětšena oproti finálním požadovaným rozměrům drážkování. Konkrétně je nutné, aby byl tvářecí trn zvětšen o hodnotu elastického přetvoření, které se do materiálu vnaší během procesu a vývrt se tak o tuto velikost přetvoření zase smrští po následném tepelném zpracování, jež slouží k odstranění vnitřního napětí. [32]

4.1.2 Zařízení

Zařízení pro výrobu drážkování vývrtu pomocí protlačování není svou konstrukcí nikterak složité, ve své podstatě je zapotřebí hydraulického nebo elektromechanického válce, kterým se za pomoci ještě prodlužovací tyče protlačuje tvářecí trn. Uvažované zařízení pro protlačování drážkování s označením UNISIG R-2A 1000 je zobrazeno na obr. 39 a charakteristiku zařízení vystihuje tab. 4.[32]



Obr. 39 Zařízení pro protlačování tvářecího trnu UNISIG R-2A 1000. [33]

Tab. 4 Charakteristika zařízení UNISIG R-2A 1000. – podle [32]

Parametr	Hodnota
Počet vřeten	1
Minimální průměr díry [mm]	4
Maximální průměr díry [mm]	12,7
Maximální délka součásti [mm]	1000
Maximální váha součásti [kg]	200
Maximální protlačovací síla [kg]	6 800
Maximální otáčky vřeten [min ⁻¹]	130

4.1.3 Výhody a nevýhody protlačování

Technologie protlačování tvářecího trnu má následující výhody: [29]

- rychlá a produktivní technologie,
- drážkování hlavně je zhotoveno na jeden průchod tvářecího trnu,
- vhodná pro hromadnou výrobu hlavních,

- dobrá udržitelnost tolerancí rozměru přes pole i přes drážky vývrtu,
- dobrá kvalita povrchu, nevyžadující další dokončování,
- zpevnění materiálu, díky čemuž lze dosahovat vyšší životnosti hlavně.

Mezi hlavní nevýhody patří: [29]

- omezení z hlediska pevnosti tvářeného materiálu – pro ráži 9 mm Luger do 1 050 MPa,
- protlačování vnáší do materiálu napětí – nutno odstranit následným tepelným zpracováním,
- složitá výroba tvářecích trnů,
- není možno obrábět hlavně před zhotovením drážek.

Výsledná kvalita drážkovaného vývrtu je ovlivněna řadou parametrů, které vstupují do výrobního procesu protlačování. Tyto parametry zároveň ovlivňují udržení požadovaných rozměrů a zajištění předepsaného rozptylu, a to jak v průběhu zbývajících technologických operací, tak i po celou životnost dané hlavně.

Procesní parametry jsou: [29]

- materiál hlavně a jeho pevnost,
- tvrdost materiálu,
- průměr vyvrtané díry,
- drsnost otvoru před protlačením,
- rychlost protlačování tvářecího trnu,
- rozměry tvářecího trnu,
- procesní kapalina,
- změny rozměrů vlivem tepelné stabilizace.

4.1.4 Úpravy technologického postupu

V případě zavedení technologie *button rifling* je nutné upravit technologický postup výroby polotovaru hlavně. Na rozdíl od stávajícího kování za studena, které současně tvaruje celý vývrt, tedy drážky i pole, spoléhá technologie protlačování na předem připravenou díru, která je pouze překalibrována kalibrační částí tvářecího trnu a tváří se drážky. Pro tuto variantu je tedy uvažován téměř totožný technologický postup jako v případě kování, který je nutno poupravit pro potřeby *button riflingu*. Změny technologického postupu polotovaru hlavně pro jsou popsány níže.

Řezání

Úpravy začínají již u výchozích rozměrů hutního materiálu, kdy je nutné použít menší průměr. V rámci operace řezání je pak hutní materiál nařezán na větší délku přířezu než v případě kování. Toto je dáno podstatou samotného kování, kdy je v průběhu kování průměr zmenšován a délka prodlužována. Zároveň je nutné vzít v potaz upíchnutí konců, které se upíchnou z důvodu nepřekování vývrtu v celé délce hlavně. V případě protlačování dochází k upíchnutí pouze jednoho konce spolu s tím, že délka upíchnutého konce je podstatně kratší.

Obrábění konců

Další změnou musí projít přípravné operace, kde se obrábí konce přířezu pro upínání polotovaru do protlačovacího stroje. Zde dojde ke zjednodušení operace a stačí pouze srazit hranu $3 \times 10^\circ$, která slouží k navedení vyvrtaného přířezu do stroje.

Hluboké vrtání

Operace hlubokého vrtání se ve své podstatě týká pouze jediná změna. Je nutné změnit průměr vrtané díry, a tedy použít nové hlavňové vrtáky. Pro kování je vrtaný průměr díry větší, než je výsledný průměr vodící části vývrtu po vykování drážek. U protlačování by tento průměr musel být naopak menší než výsledný průměr vodící části vývrtu.

Honování

Po vrtání nastává v nynějším technologickém postupu honování vyvrtané díry pouze za účelem zlepšení drsnosti povrchu. Při přechodu na technologii protlačování je nutná investice do nového zařízení pro honování, které umožní honovat díry v lepší rozměrové toleranci, jejíž dodržení je bezpodmínečně nutné pro výrobu drážkování pomocí protlačování. Zároveň je stále nutné dodržet drsnost povrchu, která by se měla po honování pohybovat maximálně do hodnoty $Ra 0,4 \mu\text{m}$. Po honování je vhodné zařadit taktéž kontrolu přímosti díry.

Protlačování drážkování





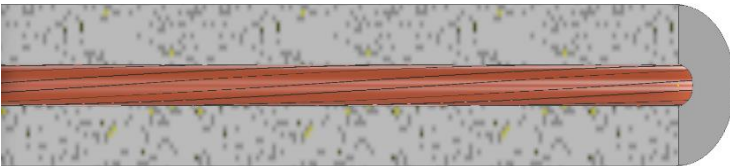
Následuje operace samotného protlačování drážkovaného vývrtu hlavně protlačovacím trnem s kalibrační částí.

Stabilizační žihání

Jak už bylo zmíněno dříve, protlačování je proces prováděný za vysokých tlaků, a proto je nutné po protlačování provést stabilizační žihání, které odstraní vnitřní napětí. Toto tepelné zpracování nevyžaduje změny a je možno ho provádět dle kap. 3.5. Po tepelném zpracování končí technologický postup výroby polotovaru hlavně. Technologický postup, kdy se z polotovaru hlavně vyrábí jednotlivé hlavně zůstává kompletně nezměněný.

Úpravy technologického postupu pro protlačování hlavní jsou uceleně zobrazeny v tab. 5. Jak už bylo dříve zmíněno, v rámci zachování obchodního tajemství společnosti nemůže být v práci uveden kompletní technologický postup i se všemi jeho výrobními parametry, a proto je uveden jen sled hlavních operací bez jakýkoliv výrobních parametrů.

Tab. 5 Úpravy technologického postupu polotovaru hlavně.

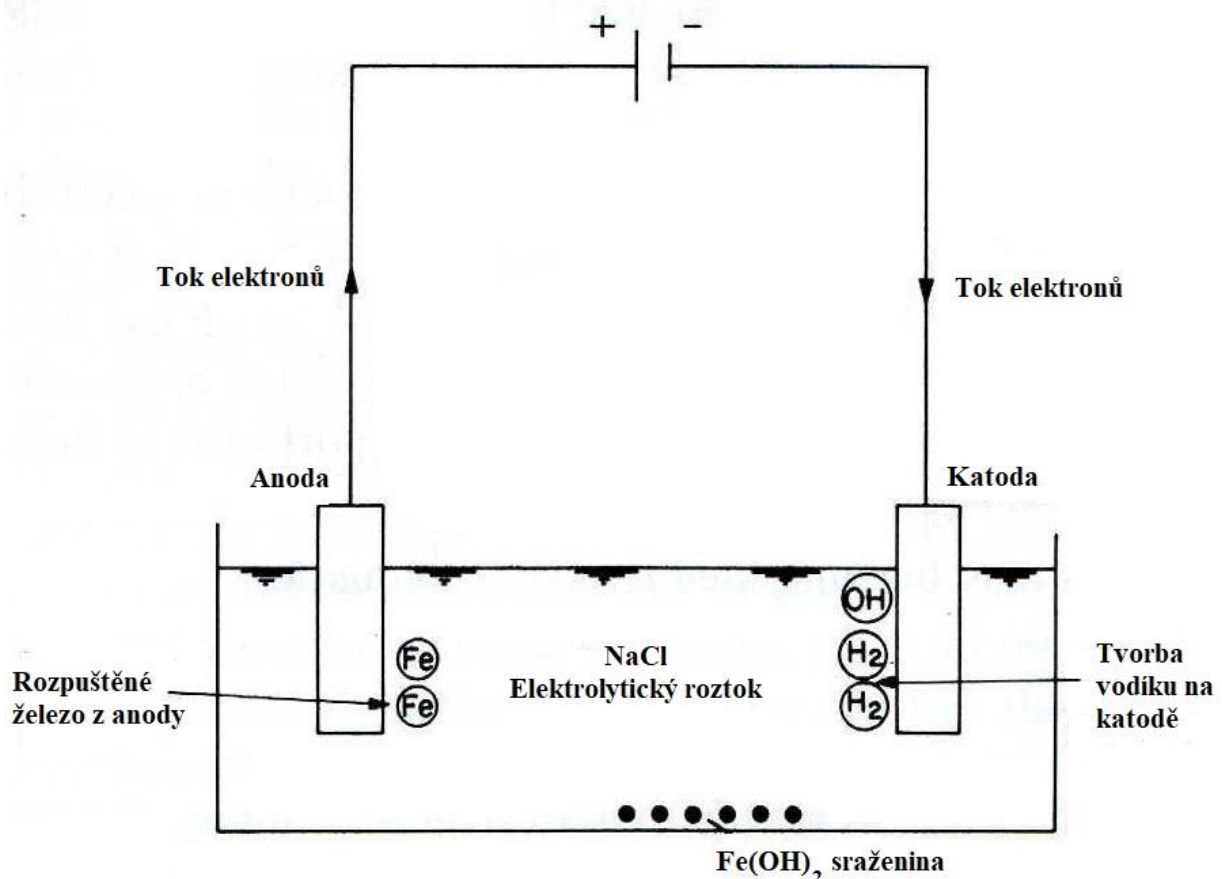
Operace	Změny	Zobrazení
Řezání	Změna průměru hutního polotovaru	
Obrábění konců	Úprava obrábění konců přířezu	
Hluboké vrtání	Zmenšení průměru vrtané díry	
Honování	Zúžení výrobní tolerance	
Protlačování drážek	Nová operace	
Stabilizační žíhání	Beze změn	

4.2 Varianta 2 – Elektrochemické obrábění

Další uvažovanou technologií pro výrobu vývrtné hlavy je elektrochemické obrábění. Od této metody se opět očekává snížení výrobních nákladů vůči kování za studena. Elektrochemické obrábění se považuje v oblasti výroby drážkování hlavní za produktivní metodu a oproti radiálnímu kování a protlačování tvářecího trnu je nutné vzít v potaz i fakt, že se nejedná o tvářecí technologii, což s sebou nese určité výhody, ale i nevýhody.

Elektrochemické obrábění (ECM) je beztržisková metoda obrábění elektricky vodivých kovových materiálů. Podstatou této nekonvenční metody obrábění je využití elektrického proudu, který působí na kapalný vodič neboli elektrolyt. Tomuto jevu se říká elektrolýza a jeho teoretické zákonitosti stanovil v 19. století Faraday. Úběr materiálu je tedy založen na elektrochemických přeměnách, které nastanou při zapojení dvou elektrod ponořených v elektrolytu do stejnosměrného obvodu. Katodou je v tomto případě nástrojová elektroda a anodou je samotný obrobek, jehož povrch musí být stále v kontaktu s elektrolytem. Původní kovový materiál se při obrábění přeměňuje na nekovové látky, nejčastěji kyseliny a hydroxidy. Princip elektrochemického obrábění je zobrazen na obr. 40. [20; 34]

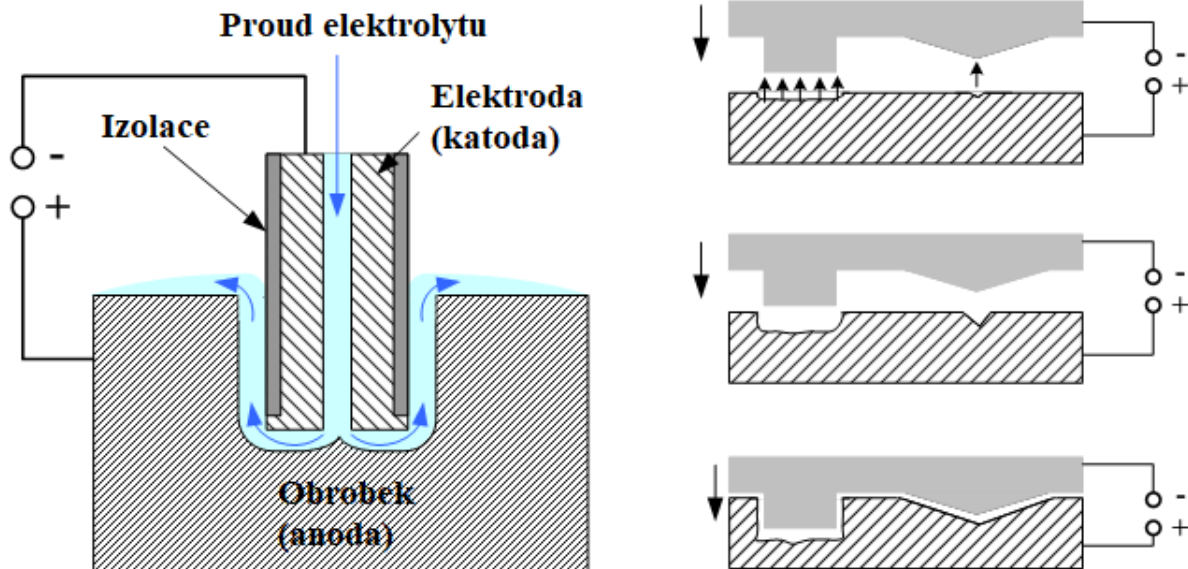
V místech obrábění se tato technologie vyznačuje velmi vysokou hustotou elektrického proudu. Proudová hustota, která dosahuje od $0,01$ do $0,1 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$, způsobí, že se z každého proudově zatíženého mm^2 ubírá 20 až 200 mm^3 obráběného materiálu za jednu minutu obrábění. [20; 34]



Obr. 40 Princip elektrochemického obrábění – podle [35].

Proces elektrochemického obrábění je znázorněn na obr. 41. Tvar pracovní části nástroje se kopíruje do obráběné plochy obrobku, přičemž je mezi nástrojem a obrobkem udržována stálá mezera, která je trvale zaplněná elektrolytem. Elektrolyt je vodný roztok ionizace schopných chemických látek a může se jednat buďto o čistý elektrolyt nebo o smíšený elektrolyt, který

obsahuje navíc ještě plynné látky. Množství elektrického proudu, které prochází elektrolytem je přímo úměrné napětí mezi katodou a anodou a jeho elektrické vodivosti roztoku. Zároveň je nepřímo úměrné vzdálenosti mezi elektrodového prostoru. Napětí v mezielektrodového prostoru je menší než napětí dodávané zdrojem stejnosměrného elektrického proudu na nástroj a obrobek. [20; 34]



Obr. 41 Proces elektrochemického obrábění – podle [36].

Příčiny ztrát na vloženém napětí: [34]

- Galvanický článek – vzniká díky rozdílným materiálům obrobku a nástroje. Velikost ztrát vlivem galvanického článku se pohybuje mezi 1 až 3 V a není možné je zcela odstranit.
- Tvorba vodíku na povrchu nástroje – průvodním jevem anodického rozpouštění. Tyto ztráty je možné ovlivnit kvalitou pracovní plochy nástroje. Zvyšují se, s rostoucí proudovou hustotou procesu.
- Polarizace – projev překážek, které v mezielektrodového prostoru brání iontům v přímém kontaktu s pevnou kovovou fází. Polarizaci je možno potlačit vytvořením vířivého proudění elektrolytu.
- Pasivace – skutečnost, kdy se při anodickém rozpouštění mění kov na kysličníky, jejichž složení a kvalita se postupně snižuje vůči čistě kovovému povrchu obrobku.

Většinou se proto nepoužívá pro běžné potřeby ECM obrábění napětí větší než 30 V. Někdy je však důležitá i dolní hranice napětí, pod níž už proces obrábění neprobíhá ideálně a může způsobit i havarijný stav. Jak už bylo dříve zmíněno, proces probíhá za stále se udržující mezielektrodové vzdálenosti, která bývá obvykle 0,1 až 0,3 mm. Při větší mezeře se snižuje rychlost a přesnost obrábění a zhoršuje se i kvalita obrobeneho povrchu. Při malé mezeře naopak vzniká nebezpečí zkratů. Pro hlídání a udržování konstantní mezery mezi elektrodou a obrobkem se používá systém plynulé regulace, který v určitých časových intervalech měří velikost mezery a podle odečtených hodnot upravuje rychlost posuvu elektrody. [20; 34]

4.2.1 Elektrolytický roztok

Správná volba elektrolytického roztoku je důležitá z hlediska optimalizace obráběcího procesu. Elektrolytický roztok v pracovním prostoru zajišťuje hlavně vedení elektrického proudu, odvod tepla a určuje podmínky pro anodické rozpouštění. Při elektrochemickém obrábění je původní materiál rozpuštěn v roztoku a odváděn z procesu v chemické formě jako např. různé kaly, sraženiny, hydroxidy nebo chemické třísky. Nejpoužívanější typy elektrolytů je možno vidět v tab. 6. [34]

Hlavní požadavky na elektrolytický roztok: [34]

- Vysoká rozpustnost a disociační stupeň elektrolytu – zajištění dostatečné elektrické vodivosti, čím větší je elektrická vodivost elektrolytu, tím je obrábění rychlejší.
- Obsah kationů uvolňujících kyslík – elektrolyt nesmí obsahovat kationty kovů, které by se při katodové reakci vyloučily z roztoku a usadily na katodě, čímž by docházelo k nežádoucím změnám geometrie.
- Obsah anionů – důležitý pro samotné anodické rozpouštění kovu.
- Vytváření nerozpustných sloučenin.
- Nízká kinematická viskozita – pro lepší přívod proudu a odvod tepla z pracovního prostoru.
- Malá rozptylovací schopnost – má velký vliv na přesnost a kvalitu obrobene plochy.
- Nízká cena.

Tab. 6 Nejpoužívanější typy elektrolytických roztoků – podle [34].

Typ elektrolytu	Koncentrace [hm. %]	Obráběný materiál	Vlastnosti
NaCl	5–20	ocel, slitiny Ni, Cu, Mg, Al, Ti	levný, nejedovatý, malý vliv na korozi, velké rozptylové schopnosti
NaClO ₃	20–45	ocel	vysoká přesnost, velký úběr, dobrá drsnost povrchu, nebezpečný
NaNO ₃	10–20	ocel, slitiny Al, Cu, Zn	univerzální, malé rozptylové schopnosti
NaNO ₂ + inhibitory	až 12	ocel, slitiny na bázi Ni, Cu, Al, Ti, W	pro zvláštní účely, jedovatý
NaOH	až 10	W, Mo	obtížná manipulace, leptající účinek
HCl H ₂ SO ₄	až 10	slitiny Ni, Cr, Co	hladký povrch, náročné na bezpečnost, leptající účinek

4.2.2 Nástroje – elektroda

Nástrojem pro ECM je elektroda, která je připojena jako katoda ke zdroji stejnosměrného napětí. Oproti jiným nekonvenčním technologiím obrábění dochází k téměř nulovému opotřebení nástroje, jelikož povrch samotné elektrody přichází do kontaktu pouze s vodíkem, který se na povrchu tvoří jako druhotný jev elektrolyzy. [34]

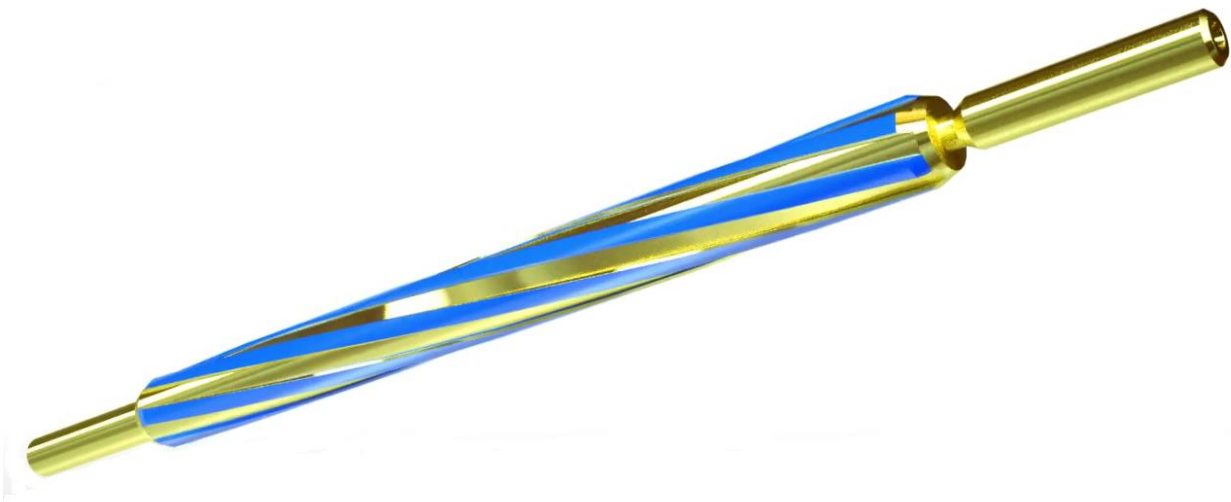
Elektrody musí ideálně splňovat následující požadavky: [34]

- dostatečná pevnost,
- jednoduchá vyrobiteľnosť,
- dobrá elektrická a tepelná vodivost,
- korozivzdornost,
- odolnosť vůči výbojům.

Tvar nástrojové elektrody je poté negativem tvaru samotného obrobku, v tomto případě tedy negativem drážkování hlavně. Návrh elektrody musí vyhovovat následujícím hlesikům: [34]

- upnutí ve stroji,
- připojení ke zdroji elektrického proudu,
- zajištění dostatečného množství elektrolytu v mezielektrodové vzdálenosti,
- izolování – těch částí elektrody, kde nepožadujeme úběr materiálu,
- určení vhodného materiálu elektrody.

Elektrody se nejčastěji vyrábějí z mědi a mosazi hlavně z důvodu výborné elektrické a tepelné vodivosti. Pro výrobu elektrod se však využívají i jiné materiály, jako jsou bronz, korozivzdorné oceli, slitiny na bázi titanu a případně i slinuté karbidy. Izolace je na daná místa na elektrodě nanášena stříkáním a většinou se používá teflon a epoxidové pryskyřice. [20]

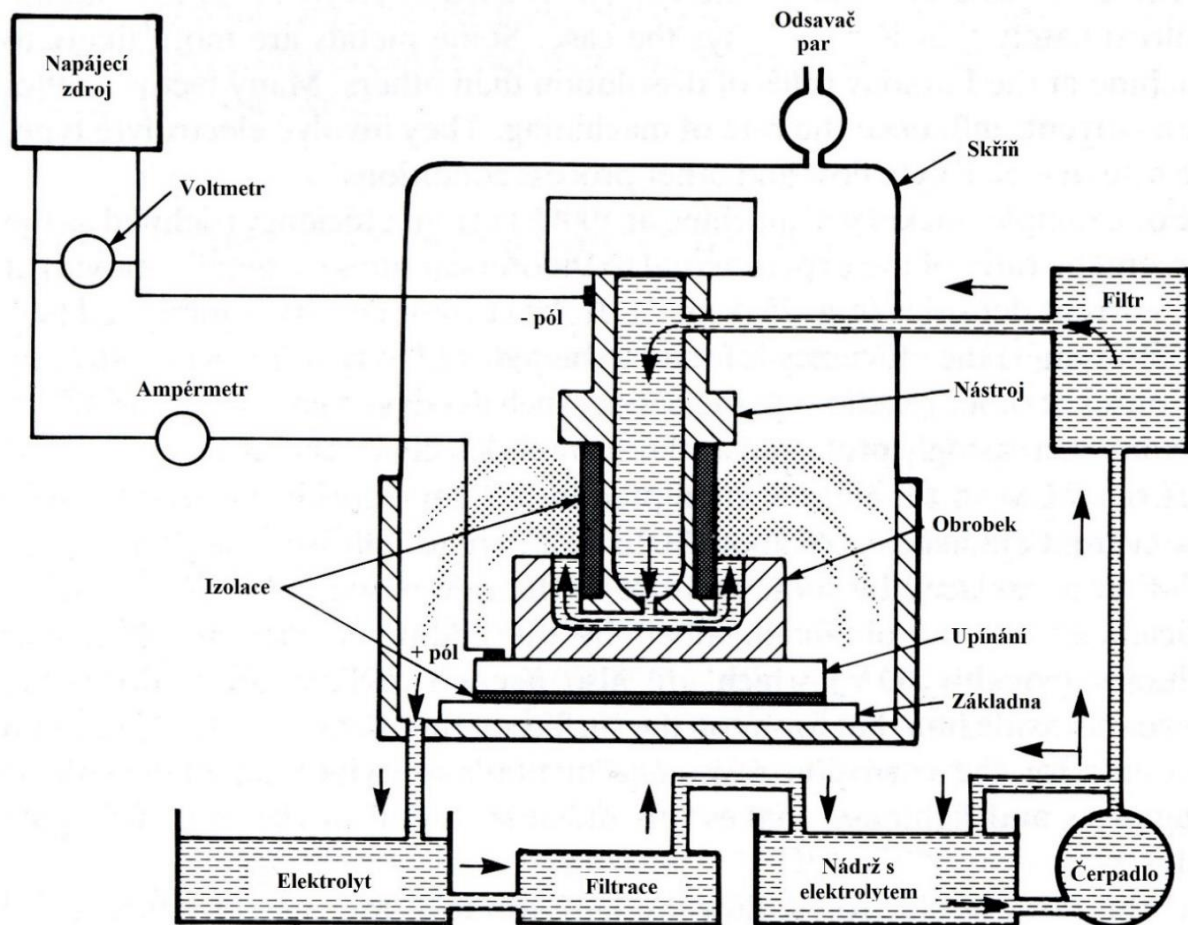


Obr. 42 Elektroda pro výrobu drážkování hlavní – podle [37].

Elektroda pro drážkování hlavní je zobrazena na obr. 42. Modrá místa na obrázku znázorňují místa, kde je elektroda izolována.

4.2.3 Zařízení

Zařízení pro elektrochemické obrábění je už z principu této technologie složitější. Schéma takového zařízení je uvedeno na obr. 43. Na zařízení jsou kladeny nároky až už z hlediska stability a tuhosti konstrukce pro zabezpečení správného upnutí obrobku, nebo z hlediska utlumení vibrací, které mohou vznikat vlivem stlačování elektrolytu na vysoké tlaky. Zároveň je nutné elektrolyt pečlivě filtrovat, aby byly odstraněny všechny vyplavené produkty obrábění. Před vstupem elektrolytu do obráběcího procesu je často nutné jej zahřát, nebo chladit na stanovenou teplotu. Zároveň je však nutné udržovat konstantní podmínky pro zachování přesnosti obrábění, jelikož se elektrolyt během procesu zahřívá průchodem proudem. [34; 35]



Obr. 43 Schéma zařízení pro elektrochemické obrábění – podle [35].

Výrobou strojů pro elektrochemické obrábění drážkování se v současné době zabývají především dva hlavní výrobci, jimiž jsou firmy Extrude Hone a EMAG Machine Tools. Pro obrábění drážkování je uvažován stroj Eco+ od firmy Extrude Hone. Na stroji lze obrábět tři kusy hlavní současně a tím rozložit výrobní náklady. Tento stroj je modulární a lze jej tak v rámci společnosti využít i pro obrábění řady jiných součástí. Stroj je zobrazen na obr. 44 a jeho charakteristika je uvedena v tab. 7.



Obr. 44 Extrude Hone Eco+ – podle [38].

Tab. 7 Charakteristika zařízení Eco+ [38]

Parametr	Hodnota
Napájecí napětí	400 V AC/50 Hz
Minimální výkon procesu	příkon 25 kVA sekundární proud 250 A/napětí 60 V
Maximální výkon procesu	příkon 40 kVA sekundární proud 500 A/napětí 60V
Elektrolytický roztok	NaNO ₃
Objem nádrže na elektrolyt	750 l
Počet současně obráběných hlavni	3

4.2.4 Drážkování vývrtu hlavně pomocí elektrochemického obrábění

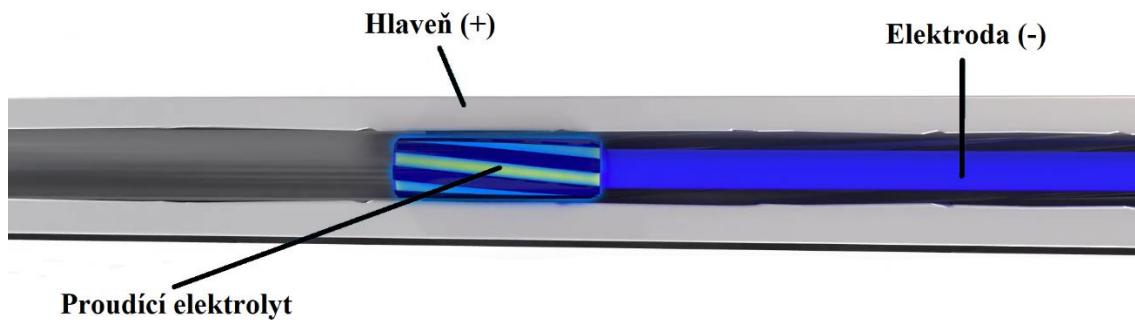
Technologie elektrochemického obrábění je při výrobě drážkování vývrtu hlavně často využívaná i z důvodu, že je možno zhotovit drážky, které mají ve vývrtu proměnné stoupání. Proměnné stoupání napomáhá k lepší stabilizaci střely a tím i ke zlepšení přesnosti, zároveň také zaručuje lepší proudění plynů v hlavni. Drážkování pomocí technologie ECM by se dalo rozdělit do dvou metod. Jedná se o statické a dynamické drážkování. [37]

Statické ECM drážkování hlavně je určeno pro kratší hlavně do délky 160 mm. Při statické metodě obrábění je nástroj (katoda) upnut na základnu a po celou dobu obrábění se nehýbe. Obrobek se nasune na nástrojovou elektrodu, upne se a je připojen na kladný pól. Tvar samotné elektrody zobrazuje obr. 42 a elektroda svou délkou odpovídá obráběné hlavni (obr. 45 c). Proces tohoto drážkování taktéž popisuje obr. 45. [37]

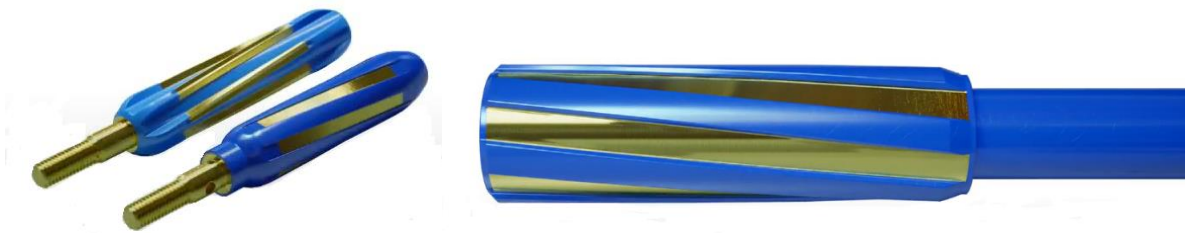


Obr. 45 Proces statického ECM drážkování – podle [37].

Dynamické ECM drážkování hlavní, viz obr. 46 se používá pro hlavě do celkové délky až 800 mm. Při dynamickém drážkování nástroj (katoda) koná posuv po šroubovici, tedy koná zároveň rotační a přímočarý pohyb. Obrobek je upnutý a nekoná žádný pohyb. V tomto případě je pracovní část elektrody podstatně kratší, viz. obr. 47 a elektroda je prodloužena pomocí prodlužovací tyče pro dosažení požadované délky obráběné hlavě, podobně jako v případě zhotovení drážkování pomocí protlačování tvářecího trnu. Zároveň je elektroda opatřena kuželem, který dovoluje použití většího posuvu při obrábění. [37]



Obr. 46 Proces dynamického ECM drážkování. – podle [37]



Obr. 47 Elektroda pro dynamické ECM drážkování. – podle [37]

4.2.5 Úpravy technologického postupu

Pro výrobu pistolové hlavně CZ P-10 C lze teoreticky využít obou metod. V případě využití dynamického ECM drážkování, které se spíše hodí pro delší hlavně určené do pušek, kulovic nebo malorážek, by se touto technologií vyrobil polotovár hlavně, který by už dále vstupoval do nezměněného technologického postupu hlavně stejně jako v případě kování nebo protlačování. Nicméně výroba drážkování tímto způsobem není pro krátké hlavně příliš vhodná. Pro pistolové hlavně nebo obecně hlavně do krátkých zbraní je využíváno statického ECM drážkování, viz obr. 45. V takovém případě dojde v podstatě k zániku technologického postupu výroby polotovaru hlavně. Operace ze zrušeného postupu se tak přesunou na začátek technologického postupu samotné hlavně. Níže jsou uvedeny změny operací v technologickém postupu, které je nutné zavést při přechodu na elektrochemické obrábění.

Řezání

Prvotní změna se týká rozměrů počátečního přířezu. Průměr přířezu se zmenší a zároveň se délka přířezu několikanásobně zmenší už z toho důvodu, že se nevyrábí polotovár hlavně, ale jednotlivá hlavě. Řezání jako takové zůstává v nezměněné podobě.

Obrábění konců

Operace obrábění konců přířezu se značně zjednoduší, poněvadž není nutné obrábět konce přířezů pro náběhy kovacíh kladiv. Jedná pouze o zarovnání čela přířezu a sražení vnější hrany pro upnutí do zařízení na ECM drážkování.

Hluboké vrtání

V případě hlubokého vrtání se jedná o stejnou změnu, jaká byla navržena v případě úprav u protlačovaného drážkování, a tedy zmenšení vrtaného průměru. S tím souvisí nové hlavňové vrtáky. V případě vrtání se jedná o zjednodušení v rámci samotné technologie, čímž dojde ke zlevnění operace. Vzhledem k délce přířezu se jedná o 10 D vrtání namísto 50 D.

Honování

Obdobně jako u protlačování je nutné vyvrtaný polotovár dále honovat v užší výrobní toleranci a zároveň dodržet žádoucí drsnost povrchu. Toto znamená stejně jako u protlačování investici

do nového zařízení pro honování. Honování je finální operací pro výrobu políček vývrtu, jelikož v ECM drážkováním jsou obráběny pouze drážky.

ECM drážkování

Po honování vyvrtaného polotovaru již následuje samotné statické elektrochemické drážkování.

Stabilizační žihání



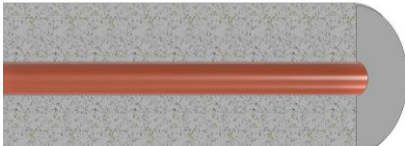

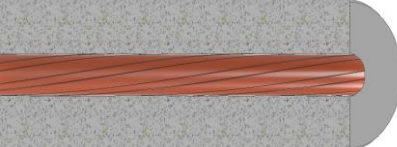
Obvykle následuje v postupu tepelná stabilizace ke snížení vnitřního napětí, která však v případě obrábění drážek pomocí elektrochemického obrábění není nutná, poněvadž tato technologie nevnáší do materiálu žádné tepelné ani mechanické napětí.

Následující operace

Po obrobení drážek jsou do postupu zařazeny všechny operace, které jsou nyní obsaženy v postupu pro výrobu hlavně v nezměněné podobě. Tyto operace již významným způsobem neovlivňují samotný vývrt a pomocí nich je obroben vnější povrch hlavně a nábojová komora. Při zavedení technologie ECM drážkování se tedy z hutního materiálu vyrobí hlavně v rámci jednoho technologického postupu.

Souhrnně jsou změny postupu, podobně jako v případě varianty protlačovaného drážkování uvedeny v tab. 8.

Tab. 8 Úpravy technologického postupu hlavně.

Operace	Změny	Zobrazení
Řezání	Změna rozměrů hutního polotovaru	
Obrábění konců	Úprava obrábění konců přířezu	
Hluboké vrtání	Zmenšení vrtaného průměru	
Honování	Zúžení výrobní tolerance	
ECM obrábění drážek	Nová operace	
Stabilizační žihání	Zrušeno	
Následující operace dle postupu hlavně	Beze změny	

4.2.6 Výhody a nevýhody elektrochemického drážkování

Elektrochemické drážkování hlavně má následující výhody: [37]

- žádné vibrace během výrobního procesu,
- minimální vnesené vnitřní napětí (odpadá následné tepelné zpracování),
- různorodost geometrie drážkování,
- možnost výroby progresivního drážkování (proměnlivé stoupání drážek),
- nízká hlučnost výrobního procesu,
- rychlá výměna nástrojů,
- možnost obrábění vnějšího povrchu hlavně ještě před zhotovením drážkování,
- obrábění tvrdých materiálů (běžně nelze zhotovit drážkování pomocí jiné technologie),
- obrábění více kusů najednou (v jednom výrobním cyklu),
- nástroj (elektroda) se téměř neopotřebovává.

Zároveň je však s elektrochemickým drážkováním spojena i řada nevýhod, přičemž hlavními z nich jsou:

- drážkování bez zpevnění (nejedná se o tvářecí technologii),
- komplexní řízení procesu,
- problémy spojené s manipulací s elektrolytem (likvidace, dopad na životní prostředí),
- koroze hlavní.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

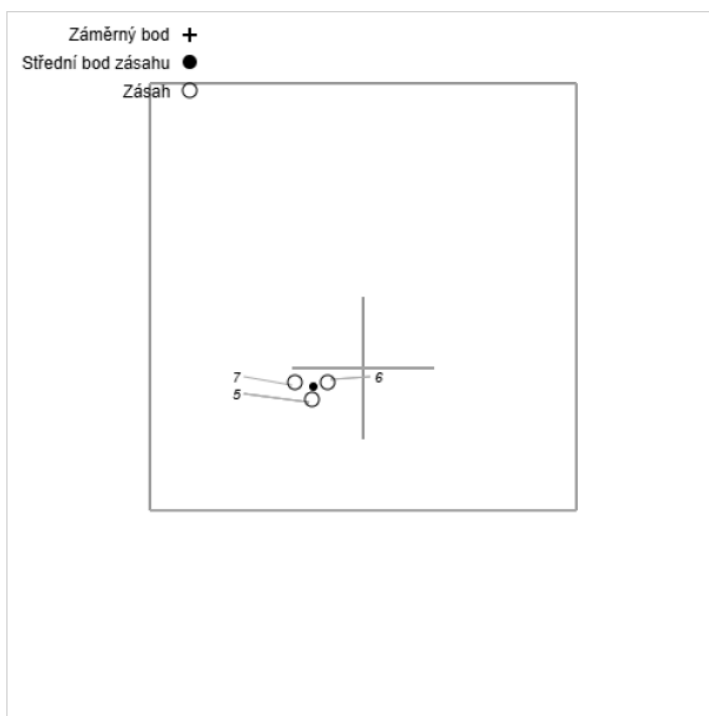
Kapitola 5 je věnována porovnání drážkování vývrtnu hlavně zhotovených pomocí kování za studena, protlačování tvářecího trnu (angl. *button rifling*) a elektrochemického obrábění. Hlaveň se posuzuje z hlediska dvou základních kritérií, jímž je životnost a rozptyl hlavně, tedy přesnost. Zároveň se sleduje, jak rychle se zhoršuje rozptyl v průběhu životnosti hlavně. Ke každé hlavní vyrobené určitou technologií je uveden nástřelný list, z kterého se vyhodnocuje rozptyl. Životnost hlavně pro pistoli CZ P-10 C je stanovena v rámci technických podmínek na 50 000 ran.

Hlavně byly testovány pomocí velké kontrolní zkoušky, zkráceně VKZ, která je ve společnosti standartní metodou pro ověřování zbraní. Cílem této konkrétní zkoušky bylo posoudit hlavěň z hlediska funkce a životnosti. Zásobník byl při každém měření nabit na částečnou kapacitu. Po vystřelení dvou nábojů, které ověří pouze funkci zbraně, následují tři výstřely určené k vyhodnocení rozptylu prostřednictvím nástřelného listu. Pro daný počet ran se vždy provádějí tři měření (tři nástřelné listy), z kterých se následně určí průměrný rozptyl v daném počtu ran. V tomto případě jsou měření stanovena před zahájením VKZ, po 5 000 ranách, po 10 000 ranách a následně vždy po dalších 10 000 ranách až do finálního měření po 50 000 ranách, což je hodnota požadována technickými podmínkami z hlediska životnosti hlavně. Střelba probíhala na vzdálenost 15 m do terče o průměru 200 mm. Ke střelbě bylo využito střeleckého stojanu, čímž dojde k částečné eliminaci odchylky měření způsobené lidským faktorem. Pro zkoušku bylo použito střelivo od dceřinné společnosti Sellier & Bellot o hmotnosti střely 115 grainů. Hodnota 115 grainů odpovídá přibližně 7,45 gramu.

5.1 Protlačované drážkování hlavně

Protlačované drážkování hlavně se testovalo pomocí VKZ zkoušky popsané výše. Pro lepší ilustraci je uveden jeden z nástřelných listů na obr. 48, konkrétně se jedná o třetí měření před začátkem VKZ. Z hlediska porovnání vyrobených hlavně je pro účely této diplomové práce nejdůležitější parametr rozptyl.

Nástřelný list



Typ zbraně: CZ P-10 C
 Výrobní číslo: G322980
 Ráže: 9 mm Luger
 Střelivo: 9 mm Luger 9x19, Sellier & Bellot, 115,0 gr
 Vzdálenost střelby: 15
 Počet zásahů: 3
 Rozptyl: 23 mm
 Souřadnice stř. zás.: -35 mm; -13 mm
 Osobní číslo střelce: 02898
 Protokol č.: 2-100246131

Střely

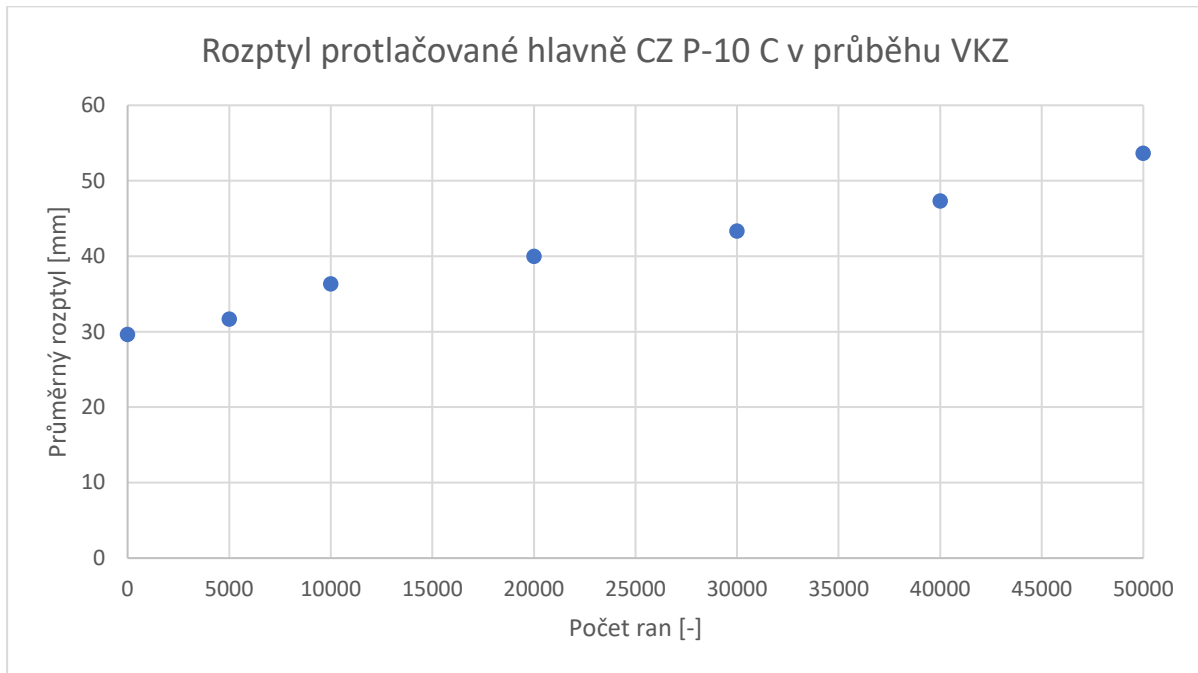
Pořadí	Souřadnice [mm]	Rychlost [m/s]	Typ	Smazaná
5	-36,0 x -21,9	341,2	P	
6	-24,6 x -10,2	337,2	P	
7	-47,8 x -10,2	335,9	P	

Obr. 48 Nástřelný list protlačované hlavně – 3. měření před VKZ. [1]

Naměřené hodnoty po každé části VKZ jsou uvedeny v tab. 9., z hodnot průměrného rozptylu je sestaven graf, který znázorňuje závislost rozptylu na počtech ran. Tento graf je zobrazen na obr. 49. Z grafu je patrný zhoršující se rozptyl v průběhu VKZ až do nejhorší hodnoty 54 mm. Avšak i v případě nejhoršího rozptylu po 50 000 ranách je rozptyl stále v rámci hodnoty stanovené v technických podmínkách společnosti pro pistolí CZ P-10 C. Dle grafu je patrný stále se zhoršující rozptyl v rámci celé zkoušky. Po celou dobu VKZ se nevyskytla žádná funkční závada a hlavně tedy splnila veškeré stanovené technické podmínky.

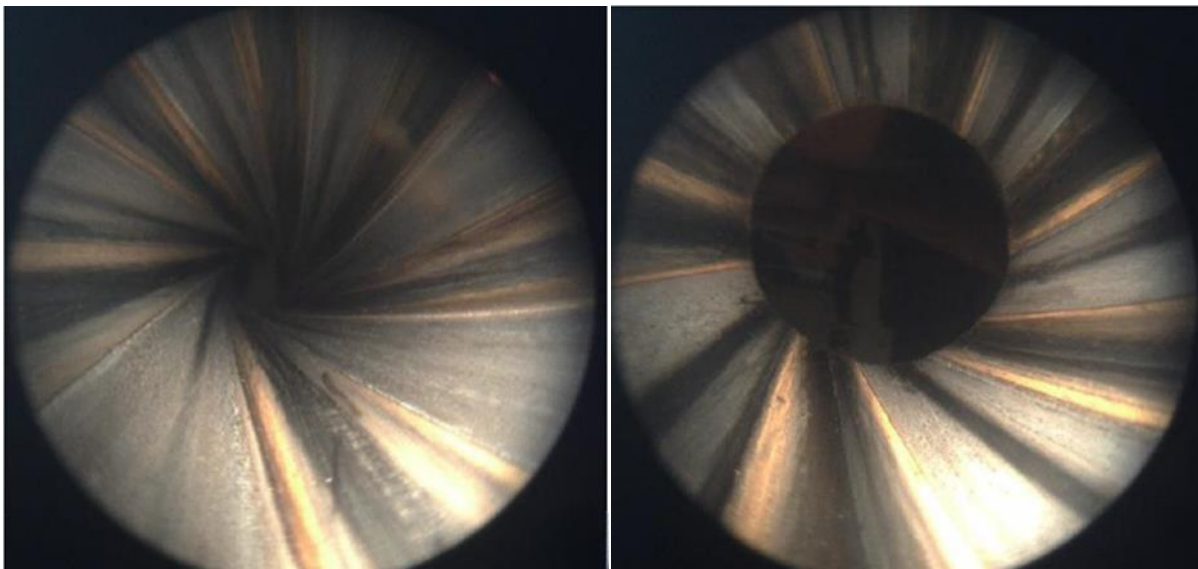
Tab. 9 Naměřené hodnoty rozptylu pro protlačované drážkování hlavně – podle [1].

Zbraň/Počet výstřelů	Číslo měření	Rozptyl [mm]	Středový bod zásahu X [mm]	Středový bod zásahu Y [mm]	MOA [-]
CZ P-10 C s protlačovanou hlavní před VKZ	1	29	-19	-2	6,65
	2	37	-24	-23	8,48
	3	23	-35	-13	5,27
	∅	30	-26	-13	6,80
CZ P-10 C s protlačovanou hlavní 5 000 výstřelů	1	35	-11	-10	8,02
	2	39	-8	-5	8,94
	3	21	-8	-7	4,81
	∅	32	-9	-7	7,26
CZ P-10 C s protlačovanou hlavní 10 000 výstřelů	1	31	-24	-28	7,11
	2	32	-23	-18	7,33
	3	46	-28	-5	10,54
	∅	36	-25	-17	8,33
CZ P-10 C s protlačovanou hlavní 20 000 výstřelů	1	42	0	15	9,63
	2	37	14	4	8,48
	3	41	28	27	9,40
	∅	40	14	15	9,17
CZ P-10 C s protlačovanou hlavní 30 000 výstřelů	1	29	-5	-12	6,65
	2	52	-30	-24	11,92
	3	49	2	-7	11,23
	∅	43	-11	-14	9,93
CZ P-10 C s protlačovanou hlavní 40 000 výstřelů	1	34	-75	75	7,79
	2	52	-27	74	11,92
	3	56	-32	58	12,84
	∅	47	-45	69	10,85
CZ P-10 C s protlačovanou hlavní 50 000 výstřelů	1	55	-32	69	12,61
	2	51	-59	99	11,69
	3	55	4	62	12,43
	∅	54	-29	77	12,30



Obr. 49 Rozptyl protlačované hlavně CZ P-10 C v průběhu VKZ.

Na obr. 50 je zobrazen vzhled vývrtné hlavně u komory a u ústí po dokončené VKZ, tedy po 50 000 ranách. Vývrt prošel standardním čištěním. Na vývrtné hlavě není žádné viditelné poškození nebo vrypy, zároveň není patrné větší usazování nečistot v oblasti drážek vývrtné hlavě. Z hlediska opotřebení vývrtné hlavě a životnosti hlavně vyrobené technologií *button rifling* vyhovuje stanoveným technickým podmínkám.



a) u komory

b) u ústí

Obr. 50 Vzhled vývrtné hlavně s protlačovaným drážkováním po VKZ. [1]

5.1.1 Ekonomické hledisko protlačování

Ve stávající fázi lze těžko určit ekonomickou úsporu za operaci protlačování drážkování vůči stávajícímu kování za studena. Z tohoto důvodu je uvedeno spíše porovnání pořizovacích a výrobních nákladů. Pořizovací cena za stroj na protlačování drážek od firmy UNISIG s označením R-2A 1000 (viz. obr. 39) se pohybuje okolo 7-8 milionů korun. Investice do této technologie je však podmíněna taktéž investicí do technologie honování, poněvadž ve

stávajícím stavu se honují polotovary pouze z důvodu udržení drsnosti povrchu pro následné kování. U protlačování je však nutné připravit průměr pro protlačování na daný rozměr přesně (výrobní tolerance daného rozměru je několikanásobně užší než v případě honování pro kování). Počáteční investice by se tak v případě investování i do zařízení pro honování polotovarů zvýšila až k cca 21 milionům Kč za kompletní technologii. Tato částka je však stále cca třetinová v porovnání s počáteční investicí do kovacího stroje GFM SHK-10 (obr. 28), která se pohybuje okolo 60 milionů Kč.

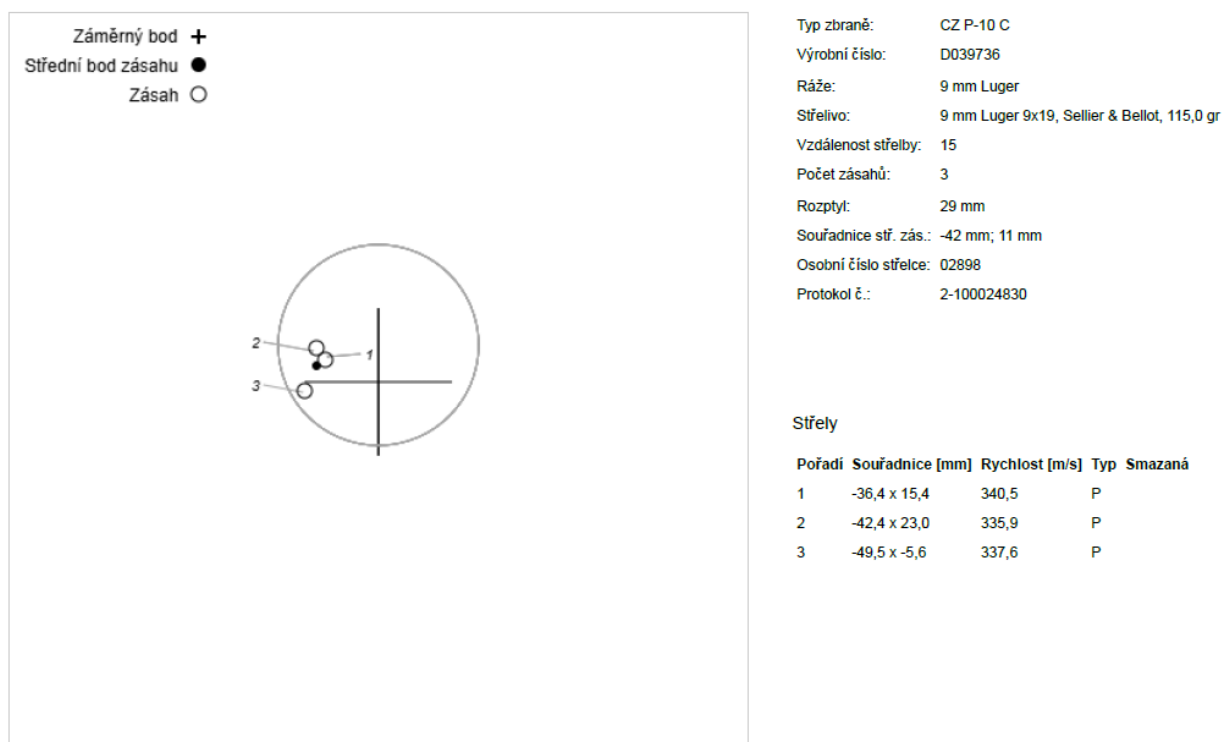
Do výrobních nákladů protlačování vstupuje cena tvářecího trnu, který zvládne vyrobít okolo 250 kusů polotovaru. Výrobní náklady jsou v případě radiálního kování nižší. Kovací trny a kovádla jsou sice dražší, ale také vydrží několikanásobně více kusů než v případě protlačování. Jak už bylo v rámci diplomové práce zmíněno několikrát, z důvodu ochrany obchodního tajemství zde nemohou být uvedeny konkrétní částky výrobních nákladů.

Na základě výše uvedených skutečností i skutečností, které v práci nemohou být uvedeny, lze prohlásit, že díky zavedení technologie *button rifling* by zcela určitě došlo k snížení výrobních nákladů na výrobu polotovaru hlavně.

5.2 Elektrochemicky obráběné drážkování hlavně

Stejným způsobem byla testována taktéž hlavně s elektrochemicky obráběným drážkováním. Jeden z nástřelných listů, konkrétně druhé měření po 10 000 ranách, je stejně jako v případě protlačovaného drážkování uveden na obr. 51. Záznam naměřených hodnot je následně uveden v tab. 10.

Nástřelný list

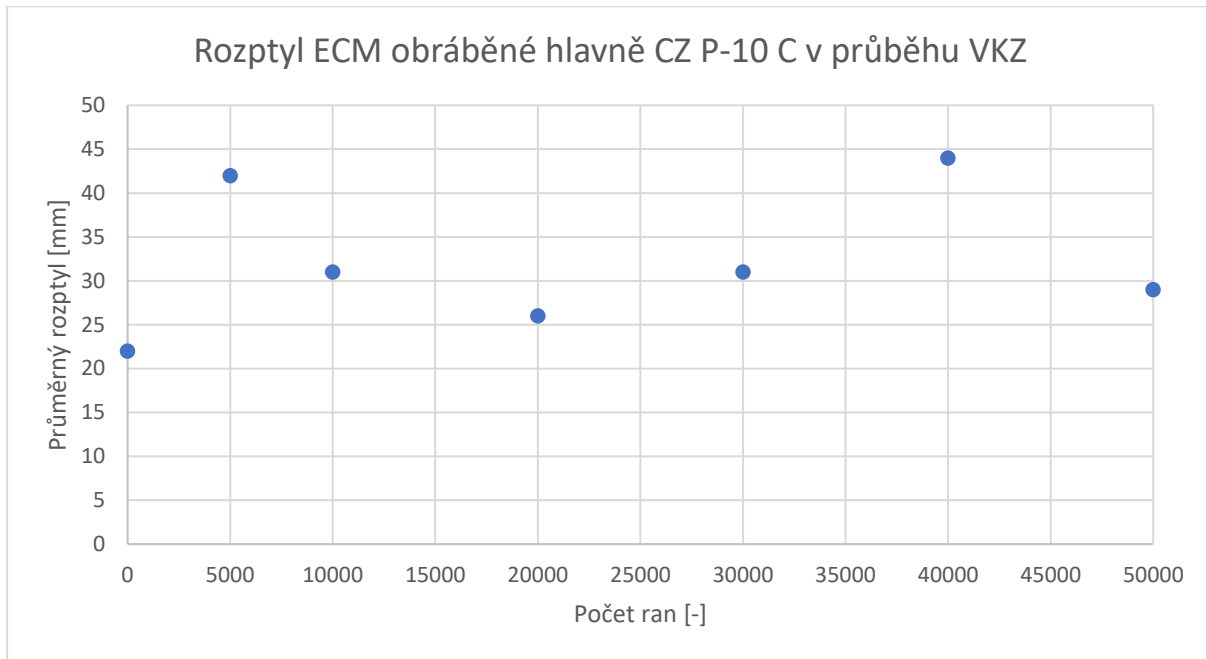


Obr. 51 Nástřelný list elektrochemicky obráběné hlavně – 2. měření po 10 000 ranách. [1]

Tab. 10 Naměřené hodnoty pro elektrochemicky obráběné drážkování hlavně – podle [1]

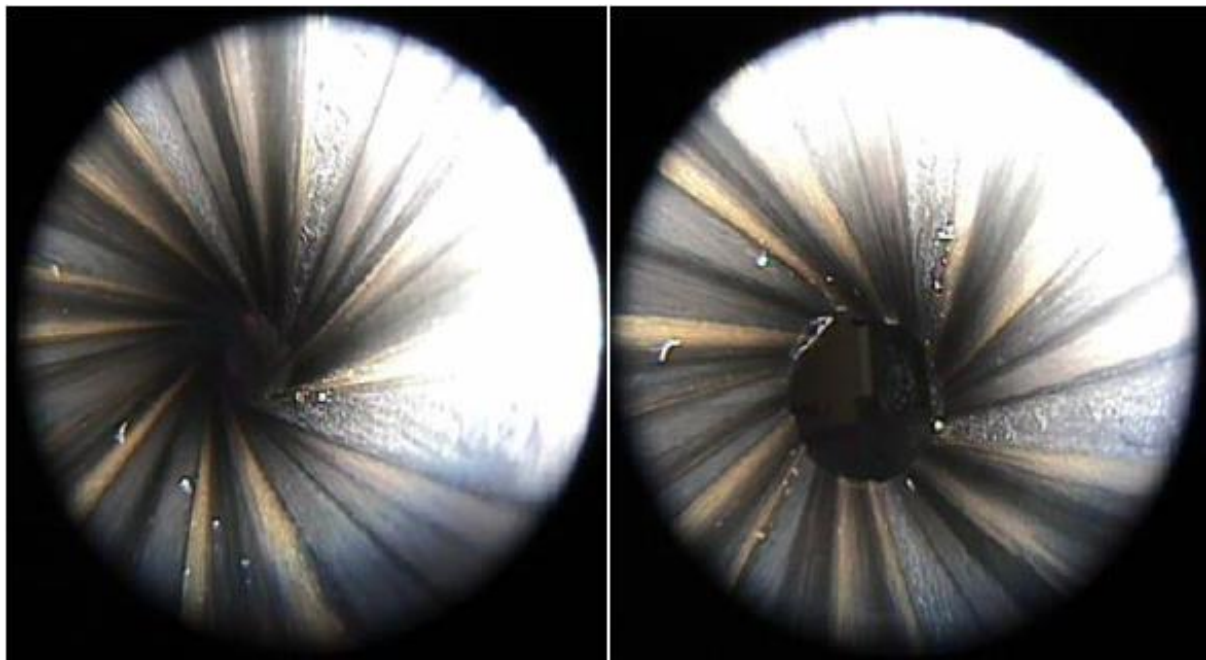
Zbraň/Počet výstřelů	Číslo měření	Rozptyl [mm]	Středový bod zásahu X [mm]	Středový bod zásahu Y [mm]	MOA [-]
CZ P-10 C s ECM obráběnou hlavní před VKZ	1	20	2	2	4,58
	2	20	0	27	4,58
	3	26	5	29	5,96
	Ø	22	2	19	5,04
CZ P-10 C s ECM obráběnou hlavní 5 000 výstřelů	1	57	-10	30	13,06
	2	34	-23	2	7,79
	3	35	-9	11	8,02
	Ø	42	-14	14	9,63
CZ P-10 C s ECM obráběnou hlavní 10 000 výstřelů	1	24	-33	-3	5,50
	2	29	-42	11	6,65
	3	41	-21	25	9,40
	Ø	31	-32	11	7,11
CZ P-10 C s ECM obráběnou hlavní 20 000 výstřelů	1	20	-21	16	4,58
	2	35	-15	-3	8,02
	3	22	-15	12	5,04
	Ø	26	-17	8	5,96
CZ P-10 C s ECM obráběnou hlavní 30 000 výstřelů	1	26	3	0	5,96
	2	37	8	6	8,48
	3	30	14	-21	6,88
	Ø	31	8	-5	7,11
CZ P-10 C s ECM obráběnou hlavní 40 000 výstřelů	1	42	5	1	9,63
	2	39	0	-2	8,94
	3	50	-19	18	11,46
	Ø	44	-5	6	10,08
CZ P-10 C s ECM obráběnou hlavní 50 000 výstřelů	1	32	-33	-4	7,33
	2	20	-18	-7	4,58
	3	35	-27	3	8,02
	Ø	29	-26	-3	6,65

Z naměřených hodnot opět vychází graf zobrazující závislost průměrného rozptylu na počtu ran. Tento graf je uveden na obr. 52. Z grafu je patrné větší počáteční zhoršení rozptylu v případě 5 000 a 10 000 ran, které se však následně vrací zpátky do nižších hodnot rozptylu. Obecně lze tedy říct, že hodnoty průměrného rozptylu v rámci VKZ hodně kolísají během celé zkoušky. I v případě elektrochemicky obráběné hlavně je však dosaženo rozptylu v rámci hodnoty stanovené technickými podmínkami. Nejhorší hodnota rozptylu je v případě ECM obráběné hlavně 44 mm na 15 metrů.



Obr. 52 Rozptyl elektrochemicky obráběné hlavně v průběhu VKZ.

Na obr. 53 je uveden pohled do ECM obráběného vývrtu hlavně ve dvou místech. Vývrt opět prošel standardním čištěním jako v případě protlačované hlavně. I navzdory tomu jsou zde patrné větší nečistoty usazené v drážkách, což může být způsobeno i jinou geometrií než u drážek zhotovených protlačováním (geometrii drážek byla věnována část kapitoly 2.3.1.). Zároveň lze na obrázku vývrtu rozpoznat zvýšené opotřebení polí drážkování. Toto opotřebení bude s největší pravděpodobností způsobeno tím, že se jedná o obrobený vývrt a materiál tedy není deformačně zpevněn jako v případě tvářeného drážkování vývrtu. Z hlediska životnosti, rozptylu a opotřebení hlavně bylo dosaženo stanoviška v rámci technických podmínek.



d) u komory

e) u ústí

Obr. 53 Vzhled vývrtu hlavně s protlačovaným drážkováním. [1]

5.2.1 Ekonomické hledisko elektrochemického obrábění

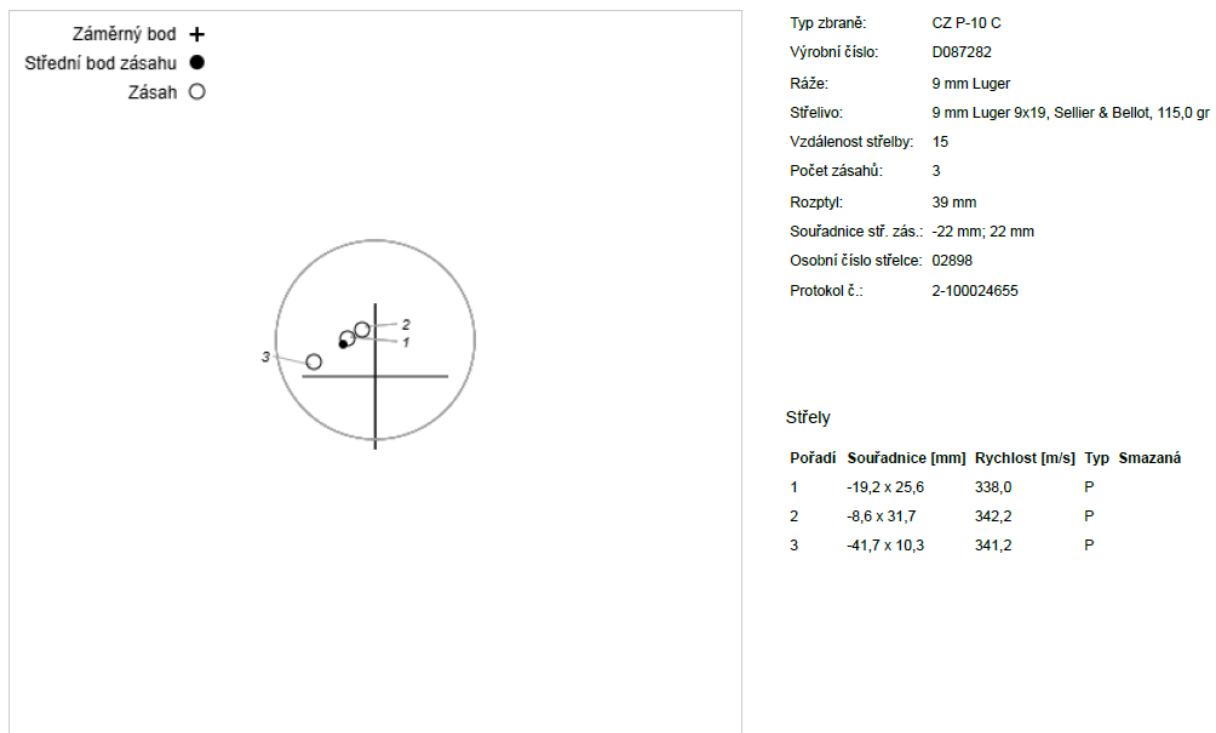
Ekonomické hledisko zavedení technologie ECM je pojata obdobně jako v případě ekonomického hlediska u protlačování. Cena zařízení pro elektrochemické obrábění od firmy Extrude Hone Eco+ se pohybuje okolo 15,5 milionů Kč. Tudíž pořizovací cena této technologie je také podstatně nižší než u kování. Avšak obdobně jako v případě protlačování i zde je podmínka investice do technologie honování, která by ve své podstatě byla finální operací pro políčka vývrtu (elektroda je na místech políček zaizolovaná, a tedy tato místa neobrábí). Investice do technologie honování by tedy opět navýšila počáteční investici a cena za kompletní technologii by byla tedy cca poloviční oproti kovacímu stroji GFM SHK-10.

Do výrobních nákladů vstupuje cena elektrody, která se však téměř vůbec neopotřebovává, a tedy by došlo k rozložení těchto nákladů v rámci výrobních sérií. Hlavními faktory, které však značně zvednou výrobní náklady, jsou činnosti spojené s doplňováním, manipulací, filtrací, chlazením, a především likvidací elektrolytického roztoku. Tyto náklady je však obtížné v této fázi testování vyčíslit.

5.3 Kované drážkování hlavně

Hlaveň s radiálně kovaným drážkováním je v současné době sériově vyráběná v rámci České zbrojovky a.s. Tato hlaveň se tedy testovala a testuje pomocí VKZ i během sériové výroby. Jedno z měření je uvedeno pro kompletní porovnání s protlačovaným a elektrochemicky obráběným drážkováním vývrtu a zaznamenáno v tab. 11. Nástřelný list je uveden na obr. 54 a platí pro druhé měření na konci VKZ.

Nástřelný list

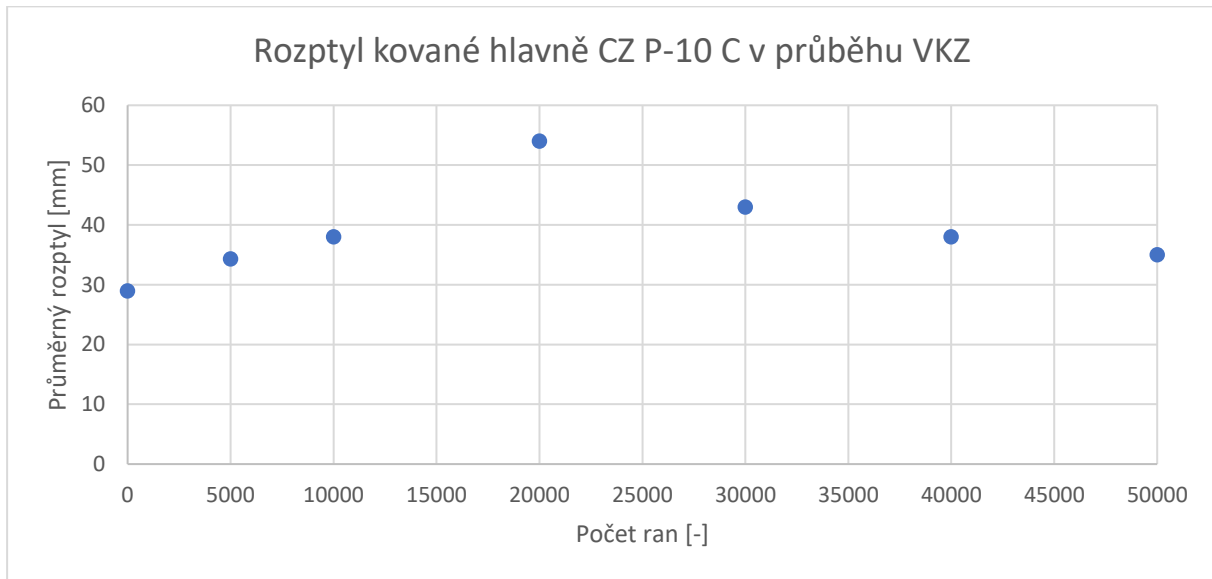


Obr. 54 Nástřelný list kované hlavně – 2. měření po 50 000 výstřelech. [1]

Tab. 11 Naměřené hodnoty pro kované drážkování hlavně – podle [1].

Zbraň/Počet výstřelů	Číslo měření	Rozptyl [mm]	Středový bod zásahu X [mm]	Středový bod zásahu Y [mm]	MOA [-]
CZ P-10 C s kovanou hlavní před VKZ	1	42	-15	48	9,63
	2	10	-19	34	2,29
	3	36	-4	28	8,25
	Ø	29	-13	37	6,65
CZ P-10 C s kovanou hlavní 5 000 výstřelů	1	38	-2	42	8,71
	2	35	-12	2	8,02
	3	30	-15	-1	6,88
	Ø	34	-10	14	7,87
CZ P-10 C s kovanou hlavní 10 000 výstřelů	1	40	2	63	9,17
	2	43	-5	10	9,86
	3	30	-15	1	6,88
	Ø	38	-6	25	8,71
CZ P-10 C s kovanou hlavní 20 000 výstřelů	1	67	22	37	15,36
	2	39	-11	11	8,94
	3	55	-13	-2	12,61
	Ø	54	-1	15	12,38
CZ P-10 C s kovanou hlavní 30 000 výstřelů	1	38	18	-2	8,71
	2	49	8	-6	11,23
	3	41	-10	17	9,40
	Ø	43	5	3	9,86
CZ P-10 C s kovanou hlavní 40 000 výstřelů	1	32	-22	32	7,33
	2	65	-7	25	14,90
	3	17	-18	27	3,90
	Ø	38	-16	28	8,71
CZ P-10 C s kovanou hlavní 50 000 výstřelů	1	31	17	6	7,11
	2	39	-22	22	8,94
	3	36	-12	2	8,25
	Ø	35	-6	10	8,02

Dle grafu na obr. 55 lze konstatovat, že i kovaná hlaveň splňuje z hlediska rozptylu technické podmínky, stejně jako v případě obou předchozích technologiích. U této technologie se však tato skutečnost očekává vzhledem k faktu, že se v současné době vyrábí sériově v České zbrojovce a.s. I v tomto případě lze prohlásit, že hlaveň splňuje veškeré stanovené technické podmínky.



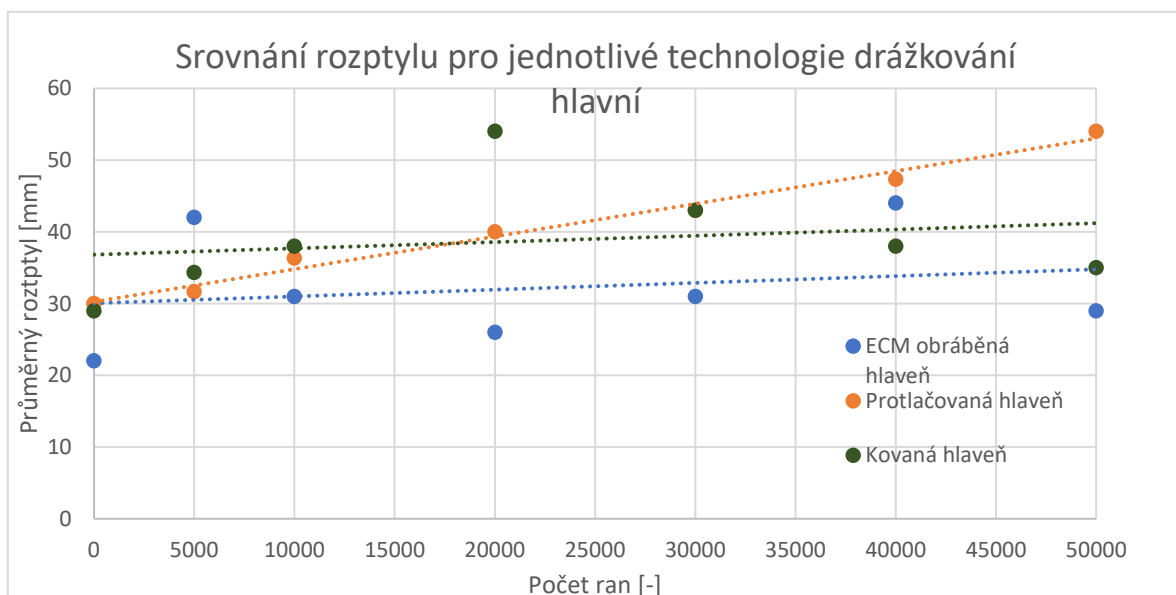
Obr. 55 Rozptyl kované hlavně v průběhu VKZ.

5.4 Shrnutí

Na obr. 56 je uveden graf, na kterém je zobrazeno srovnání všech tří výrobních technologií drážkování vývrtu. Body grafu jsou vždy proloženy křivkou lineární funkce a lze tak lépe zobrazit zhoršující se rozptyl u jednotlivých technologiích. Dalo by se tedy prohlásit, že u protlačované hlavně dochází k rychlejšímu zhoršování rozptylu. Zároveň je však nutné zmínit, že ani u jedné z těchto hlavni nedošlo ke zhoršení rozptylu do takové míry, aby nespĺňovala technické podmínky. V případě kované drážkování lze rozptyl naměřený ve 20 000 ranách považovat za statistickou odchylku vzhledem k faktu, že po zbytek VKZ se rozptyl snížil, tato hodnota však značně ovlivňuje proloženou křivku.

Dále je nutné uvést, že každá jednotlivá zbraň je svým způsobem originál a do jejího rozptylu promlouvají i další faktory jako:

- mechanické a konstrukční – axiální vůle svazku hlavně a závěru, uložení hlavně atd.,
- munice – různí výrobci, šarže atd.,
- teplota hlavně.



Obr. 56 Srovnání rozptylu jednotlivých výrobních technologií.

V rámci VKZ je taktěž měřen rozměr vodící části vývrtnu před VKZ a po VKZ. Rozměr se měří pomocí válcových kalibrů odstupňovaných po 0,01 mm. V tab. 12 je uveden záznam měření a označení pomocí písmen P jako průchozí a N jako neprůchozí. Dolní mezní rozměr je dle přílohy 1 specifikovaný normou C.I.P na minimálně 8,82 mm a horní mezní rozměr je specifikovaný výrobní tolerancí v rámci České zbrojovky a.s. Jak je možno vidět u protlačované hlavně kalibr horního mezního rozměru před VKZ neprošel a po VKZ prošel. Proto se vývrt měřil i kalibrem o 0,01 mm větší, než je horní mezní rozměr, tento kalibr již vývrtem neprošel. Tato skutečnost indikuje změnu rozměru v průběhu VKZ v rozsahu výrobní tolerance v celé délce hlavně. U elektrochemicky obráběné hlavně byl rozměr po VKZ taktěž v rámci výrobní tolerance.

Tab. 12 Měření vodící části vývrtnu v rámci VKZ.

Zbraň	Počet ran	Dolní mezní rozměr		Horní mezní rozměr		Horní mezní rozměr +0,01	
		komora	ústí	komora	ústí	komora	ústí
CZ P-10 C s protlačovanou hlavní	před VKZ	P	P	N	N	-	-
	po VKZ	P	P	P	P	N	N
CZ P-10 C ECM obráběnou hlavní	před VKZ	P	P	N	N	-	-
	po VKZ	P	P	N	N	-	-
CZ P-10 C s kovanou hlavní	před VKZ	P	P	N	N	-	-
	po VKZ	P	P	N	N	-	-

V tab. 13 jsou souhrnně uvedeny skutečnosti týkající se zhodnocení výrobních technologií a barevně odlišeny dle toho, jak dobře daná technologie vyhovuje danému kritériu. Z této tabulky na první pohled nejlépe vychází radiální kování.

Tab. 13 Zhodnocení jednotlivých technologií.

Technologie výroby drážkování	<i>Button rifling</i>	Elektrochemické obrábění	Radiální kování
Požizovací cena	cca 7-8 mil. Kč	cca 15,5 mil. Kč	cca 60 mil. Kč
Provozní náklady	nízké	střední	nízké
Dosažená životnost hlavně	ano	ano	ano
Průměrný rozptyl hlavně	40 mm	32 mm	39 mm
Tepelné zpracování k odstranění vnitřního napětí	nutné	není nutné	nutné
Produktivita	střední	střední	vysoká
Zpevnění materiálu	střední	žádné	vysoké
Objem výroby	střední a velké série	střední a velké série	velkosériová a hromadná výroba

Doporučení:

Z hlediska ceny technologie se nejlépe jeví technologie *button rifling*, jejíž počáteční investice je nejnižší v rámci všech porovnávaných technologií. Pořízení technologie *button rifling* je však podmíněné investicí do technologie honování. I přes tuto skutečnost zůstává pořizovací cena stále nejnižší. Z hlediska životnosti a přesnosti hlavně pak vychází nejlépe již v rámci České zbrojovky a.s. zavedené radiální kování. Kování se také nejlépe jeví z pohledu výrobních časů operace a tedy produkce.

Vhodným východiskem je tedy zachování již zavedené technologie radiálního kování za studena pro další produkty společnosti Česká zbrojovka a.s., jako jsou vojenské zbraně, kulovnice a sportovní zbraně. Pro cenově dostupné polymerové pistole a případně i základní modely malorážek by pak bylo vhodné zavést technologii *button riflingu*, která přinese ekonomickou úsporu při zachování srovnatelné životnosti a přesnosti. V rámci výroby drážkování kováním je možnost pro některé produkty provést změny v rámci samotné operace, a tedy kovat vývrt zároveň s nábojovou komorou na čisto. Tím ušetřit náklady na další operace a zároveň zvýšit precizi zbraně díky dokonalé sousosti vývrtu hlavně s přechodovým kuželem a nábojovou komorou.

ZÁVĚR

Diplomová práce se zaměřuje na analýzu produktivních technologií pro výrobu vývrtní hlavní. Úvodní kapitola představuje společnost Česká zbrojovka a.s., v jejíž spolupráci byla práce vypracována. Následující kapitola je věnována definici klíčových pojmů z oblasti zbrojního průmyslu. Dále jsou rozebrány ruční palné zbraně z hlediska konstrukce, s důrazem na problematiku hlavní, konkrétně pak na oblast drážkovaného vývrtní.

V následující části práce je proveden rozbor současné technologie výroby hlavní, zaměřený především na radiální kování za studena a operace nezbytné pro dosažení požadované kvality a životnosti finálního produktu. Na tuto část práce navazuje samotný návrh alternativních technologií, které jsou uvažovány jako náhrada za stávající kování za studena. Mezi navrhované technologie patří *button rifling* a elektrochemické drážkování. Z důvodu ochrany obchodního tajemství však nejsou v práci zahrnuty veškeré dostupné informace.

Závěrečnou a zároveň patrně nejzajímavější částí práce je technicko-ekonomické zhodnocení, které obsahuje porovnání tří hlavních vyrobených pomocí dříve analyzovaných technologií, a to z hlediska funkce, životnosti a přesnosti hlavně. Všechny tři hlavně splnily podmínky stanovené technickou specifikací společnosti. U technologie *button rifling* je zaznamenáno nejvýraznější zhoršení rozptylu hlavně, přičemž nejvyšší naměřená hodnota průměrného rozptylu je 54 mm na vzdálenost 15 metrů. I přes to byla však na základě uvedených i neuvedených informací tato technologie v pozdějších fázích návrhu favorizována a ve finálním doporučení zmíněna jako vhodná alternativa k zavedení v rámci společnosti. Finální doporučení pak navrhuje zachovat technologii radiálního kování za studena pro vybrané části produktového portfolia, jako jsou vojenské zbraně, kulovnice a sportovní zbraně. Zavedení technologie *button rifling* je naopak doporučeno pro některé cenově dostupné polymerové pistole, případně základní modely malorážek. Toto kombinované řešení by přineslo ekonomickou úsporu, aniž by zásadně ovlivnilo kvalitu a životnost finálních produktů.

Všechny cíle práce byly splněny.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ČESKÁ ZBROJOVKA A.S. *Interní technická dokumentace*. Uherský Brod, 2025.
 2. *Colt CZ Group*. Online. Dostupné z: <https://www.coltczgroup.com/>. [cit. 2024-10-12].
 3. *Česká zbrojovka a.s.* Online. Dostupné z: <https://www.czub.cz/>. [cit. 2024-10-12].
 4. PAZDERA, David. *Česká zbrojovka: historie výroby zbraní v Uherském Brodě*. Uherský Brod: Česká zbrojovka, 2006. ISBN 80-903450-9-3.
 5. *Colt's Manufacturing LLC*. Online. Dostupné z: <https://www.colt.com/>. [cit. 2024-10-12].
 6. Zákon č. 90/2024 Sb. o zbraních a střelivu. In: Praha: Ministerstvo vnitra, 2024. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2024-90>. [cit. 2024-12-02].
 7. JANKOVÝCH, Robert. *Hlavnové zbraně a střelivo*. Brno, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5.
 8. ČESKÁ ZBROJOVKA A.S. *Návod na použití P-10*. Online. Dostupné z: <https://www.czub.cz/file/3814>. [cit. 2025-01-04].
 9. *Produktový katalog: Sellier & Bellot*. 2024/5. Sellier & Bellot, 2024.
 10. POPELÍNSKÝ, Lubomír. *Základy konstrukce zbraní*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2001. ISBN 80-7194-384-3.
 11. ŠTURSA, Petr. Hlavně. Online. In: 2012. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/11585529/>. [cit. 2025-01-09].
 12. FAKTOR, Zdeněk. *Lovecké zbraně a střelivo*. 2. dopl. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1973.
 13. LIDMILA, Zdeněk; LUKEŠ, Jan a SVOBODA, Emil-. *Strojírenská technologie II: Technologie ve výrobě zbraní a munice*. 1999. Brno: Vojenská akademie v Brně.
 14. BBOLZANO. *Přehled vlastností ocelí 42CrMo4*. Online. 2020. Dostupné z: <https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-zuslechtovani-podle-en-10083-1/prehled-vlastnosti-oceli-42crmo4>. [cit. 2025-01-18].
 15. PÍŠKA, Miroslav, a kolektiv. *Speciální technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
 16. TUMLIKOVO. *Geometrie vrtáků*. Online. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/geometrie-nastroju/geometrie-vrtaku/>. [cit. 2025-01-16].
 17. GÜHRING. *Vrtáky na hluboké otvory*. Online. Dostupné z: <https://guehring.com/cs/products/gun-drills/>. [cit. 2025-01-16].
 18. HMC-SYSTEM. *Hluboké vrtání*. Online. 2021. Dostupné z: <https://www.hmc-system.cz/produkty/hlubokey-vrtani-minimalni-primazavani-upinace/hlubokey-vrtani/>. [cit. 2025-01-16].
 19. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 2. část*. Online. 2004. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-2cast.pdf. [cit. 2025-01-16].
 20. HUMÁR, Anton. *Technologie I Technologie obrábění - 3. část*. Online. 2005. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf. [cit. 2025-01-17].
 21. *Strojírenství – engineering: Dokončovací operace*. Online. Dostupné z: <https://www.strojirenstvi.wz.cz/image.php?subject=1&class=4&topic=38&image=0>. [cit. 2025-01-17].
-

-
22. LOUTOCKÝ, Petr. *Analýza konstrukce a funkce stroje na drážkování hlavní*. Online. 2013. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=66850. [cit. 2025-01-18].
 23. JAKOVÝCH, Robert. *Zbraně a střelivo v obraně: Prezentace 6 Hlavně palných zbraní*. Brno, 2012. Dostupné z: https://www.vut.cz/studis/student.phtml?gm=gm_detail_predmetu&apid=186801.
 24. DRILL MASTERS ELDORADO TOOL. *Hammer Forging Mandrels*. Online. Dostupné z: <https://dmetool.com/products/rifle-buttons-mandrels/>. [cit. 2025-01-18].
 25. BEAR CREEK ARSENAL. *Cold hammer forged barrels*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.bearcreekarsenal.com/blog/cold-hammer-forged-barrels-guide.html>. [cit. 2025-01-18].
 26. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření II*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-580-2.
 27. *Baucor*. Online. b.r. Dostupné z: <https://www.baucor.cz/collections/chamber-reamer>. [cit. 2025-05-09].
 28. *ZPV Proizvodnja*. Online. b.r. Dostupné z: <https://zpvproizvodnja.com/chamber-reamers/>. [cit. 2025-05-09].
 29. *Firearms history*. Online. 2010. Dostupné z: <https://firearmshistory.blogspot.com/2010/05/rifling-manufacturing-button-rifling.html>. [cit. 2025-05-09].
 30. STAR SU. *Tooling for Rifle Barrel Manufacturing*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.star-su.com/blog/tooling-for-rifle-barrel-manufacturing/>. [cit. 2025-05-09].
 31. SCRIBD. *Button Rifling*. Online. b.r. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/510317738/What-is-Button-Rifling>. [cit. 2025-05-09].
 32. UNISIG. *R-2A*. Online. B.r. Dostupné z: <https://unisig.com/product/r-2a/>. [cit. 2025-05-09].
 33. UNISIG. *R-Series Rifling Machines*. Online. B.r. Dostupné z: <https://unisig.com/all-machines/r-series-rifling-machines/>. [cit. 2025-05-09].
 34. MIČIETOVÁ, Anna. *Progresívne technológie*. Žilina: EDIS – vydavateľské centrum ŽU, 2016. ISBN 978-80-554-1288-7.
 35. ECS. *ELECTROCHEMICAL MACHINING (ECM)*. Online. 2005. Dostupné z: <https://knowledge.electrochem.org/encycl/art-m03-machining.htm>. [cit. 2025-05-09].
 36. SUBSTECH. *Electrochemical machining*. Online. 2023. Dostupné z: https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=electrochemical_machining. [cit. 2025-05-09].
 37. EXTRUDE HONE. *Barrel Rifling*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.extrudehone.com/industry/firearms/barrel-rifling/>. [cit. 2025-05-09].
 38. EXTRUDE HONE. *Product data sheet Eco+*. Online. B.r. Dostupné z: https://extrudehoneprd.wpenginepowered.com/wp-content/uploads/2020/10/ECO_EN_v02.pdf. [cit. 2025-05-09].
 39. CUZZS. *Tabulka ráží s přílohami*. Online. 2014, 2023. Dostupné z: https://www.cuzzs.cz/userfiles/documents/CIP/CSN/Tabulky_razi_s_prilohami.pdf. [cit. 2025-05-09].
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A	tažnost	[%]
D	průměr	[mm]
R _e	mez kluzu	[MPa]
R _m	mez pevnosti	[MPa]
v _c	řezná rychlost	[m·min ⁻¹]
v _f	posuvová rychlost	[mm·min ⁻¹]
Z	zúžení	[%]

Zkratky

Označení	Legenda
a.s.	akciová společnost
angl.	anglicky
apod.	a podobně
atd.	a tak dále
Auto	Automatic
button rifling	protlačování tvářecího trnu
C	uhlík
cca	circa
Cr	chrom
C.I.P.	Commission Internationale Permanente
CZ	Česká zbrojovka a.s.
ČSN	Česká technická norma
DIN	Deutsches Institut für Normung
ECM	elektrochemické obrábění
hm.	hmotnostní
H ₂ SO ₄	síran sodný
HCl	kyselina chlorovodíková
HRC	tvrdost podle Rockwella, stupnice C
HSS	rychlořezná ocel
IT	International Tolerance
kap.	kapitola
Mo	molybden
MOA	minute of angle
Mn	mangan
NaCl	chlorid sodný
NaClO ₃	chlórečnan sodný
NaNO ₂	dusitan sodný
NaNO ₃	dusičnan sodný
NaOH	hydroxid sodný
obr.	obrázek
P	fosfor
P-10 C	P-10 Compact
S	síra
Si	křemík
tab.	tabulka

Označení	Legenda
USA	Spojené státy americké
VKZ	velká kontrolní zkouška
vz.	vzor
W. Nr.	Werkstoffnummer

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Rozměry náboje 9 mm Luger dle C.I.P. normy
Příloha 2	Materiálový list 42CrMo4

C.I.P.	9 mm Luger Země původu: DE	TAB.	IV
		Datum	84-06-14
		Revize	08-09-23
Alternativní názvy: 9 mm Para(bellum), 9 x 19 (mm)			
	MAXIMÁLNÍ ROZMĚRY NÁBOJE Délka náboje L1 = L2 = L3 ¹⁾ = 19,15 -0,25 L4 = L5 = L6 = 29,69 Dno nábojnice R = 1,27 R1 = 9,96 R3 = E = 2,98 E1 = 8,79 e min = 0,90 δ = 35° f = 0,30 β = 45° Prostor pro výmetnou náplň P1 = 9,93 P2 = Dosedací kužel α = S = r1 min = r2 = Krček H1 = H2 ¹⁾ = 9,65 Střeja G1 ¹⁾ = 9,03 G2 = F = L3+G ¹⁾ = 22,50 Tlaky (Energie) Metoda piezo Pmax = 2350 bar PK = 2703 bar PE = 3055 bar M = 12,50 Ostatní rozměry Fe ¹⁾⁴⁾ = 0,30 délka L =	MINIMÁLNÍ ROZMĚRY HLAVNĚ Délka nábojové komory L1 = L2 = L3 ¹⁾ = 19,15 Sedlo nábojové komory R = R1 = 10,00 R2 = R3 = r = Prachový prostor E = 2,98 P1 ¹⁾ = 9,96 P2 = Dosedací kužel α = S = r1 max = r2 = Krček H1 = H2 ¹⁾ = 9,68 Přechodový kužel G1 ¹⁾ = 9,05 G ¹⁾ = 3,35 α1 = 180° h = s = j ¹⁾ = 1°57'57" w = Průměry vodící části F ¹⁾ = 8,82 Z ¹⁾ = 9,02 Drážkování vodící částí b = 2,49 N = 6 u = 250,00 Q = 62,61 mm ²	
		Měřítko 1,71:1 Rozměry jsou v << mm >> Rozměry a tolerance zkušebních hlavni najdete v Příloze CR-1, Poznámky: 1) Kontrola z bezpečnostních důvodů 6) Uzamykací délka k ústí nábojnice * Základní rozměry	



BGH Edelstahl Freital GmbH

BGH Edelstahl Freital GmbH, Am Stahlwerk 1, 01795 Freital

Bohdan Bolzano S.R.O.

Hutská 126

27201 Kladno
Tschechien

Kunden-Bestell-Nr. B210B-2850/KAB
Customer order no.
Cde. no. du client

BGH-Auftrags-Nr. 38976502/262547
BGH works no.
BGH référence

Zeugnis-Nr. 511472
Certificate no.
No. de certificat

Bescheinigung über Werkstoffprüfung nach DIN EN 10204
Certificate of material tests according to DIN EN 10204 3.1
Certificat des essais des matériaux selon DIN EN 10204

Die Lieferung entspricht den vereinbarten Lieferbedingungen.
Delivery in accordance with the agreed terms of delivery.
La livraison correspond aux conditions de livraison convenues.

Zeichen des Lieferanten Trade mark
Signe du fournisseur

Stempel des Werkstoffverständigen Inspector's stamp
Palsson de l'inspecteur



Erzeugnisform Produkt		Stab, rund, roh round bars, unmachined										
Werkstoff / Quality		1.7225 42CrMo4 +QT										
Anforderungen Requirements		Lastenheft N 1887 Rev. 3 07/2017										
Beschreibung und Maßnachprüfung Inspection and dimensional control Inspection et contrôle de dimension ohne Beanstandung without objection				Erneuerung/Nachbehandlung Meltingprocess/secondary refining Mode d'élaboration/traitement ultérieur E- LF/VD				Vorwerkungsprüfung (spectroanalytisch) Identification test (spectral-analysis) examenation d'identification(analyse spectrale) ohne Beanstandung without objection				
Pos. Item Poste	Anzahl Quantity Quantité	Abmessung Dimension Dimensions		Gewicht Weight Poids		Schmelz-Nr. Heat-No. No. de coulée						
1	4	42,00 RD		250 kg		403110						
Schmelz Heat %	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Nb	V	Ti
403110	0,386	0,29	0,65	0,010	0,0160	0,98	0,24	0,38	0,05	0,003	0,018	0,001
	Al	N	W	B	Ca							
	0,031	0,0055	0,007	0,0001	0,0005							
Wärmebehandlungszustand Condition of heat treat		spannungsarm vergütet low residual stress quenched + tempered										
Probe-Nr. Test-No.	Lage loc.	Temp. °C	Rp0,2 N/mm ²	Rm N/mm ²	A5 %	Z %	Kerbschlagarbeit Impact value J/cm ²	Probenform Shape of test piece KCU2mm	Härte Hardness HBW			
Soll/Req.	L	RT	>=830	>=900	>=17	>=45	>=70	RT	>=277			
	L	RT		<=1050					<=330			
004BH8	L	RT	869	964	17	66	211 191 210	RT	313-324			
004BH14	L	RT	889	979	17	64	203 201 200	RT				
US-Prüfung nach/ ultrasonic testing acc. to DIN EN 10308 03/02 Tab.1- Typ 1a (vollständig-complete) Tab.2- Qual.Kl.4: ohne Beanstandung- no objection.												
Rissprüfung nach/ crack-test acc.to DIN EN ISO 9443 11/18, Klasse/class A: ohne Beanstandung- no objection.												
Reinheitsgrad/ micro purity			A dünn/thin: 2,5			A dick/heavy: 0,5						
ISO 4967 Meth. A:			B dünn/thin: 0,5			B dick/heavy: 0						
			C dünn/thin: 0			C dick/heavy: 0						
DS : 0,5			D dünn/thin: 1,0			D dick/heavy: 0,5						
Stufendrehprobe/ magnetic particle testing: ohne Beanstandung- no objection												
Gefüge/ microstructure: feinkörniges Gefüge- fine grained structure												
Anlagen Encl. Annexe				Freitafel Place and date Lieu et date 10.03.2022				Abnahmebeauftragter Inspector representative Inspecteur de réception Kadner				
Das Zeugnis wurde maschinell erstellt und ist auch ohne Unterschrift gültig.							This certificate was generated by data system and it is valid without signature as well. Ce certificat a été généré par système informatique et est valable sans signature manuelle.					



BGH Edelstahl Freital GmbH

BGH Edelstahl Freital GmbH, Am Stahlwerk 1, 09705 Freital

Bohdan Bolzano S.R.O.

Hutsko 126

27201 Kladno
Tschechien

Kunden-Bestell-Nr.
Customer order no.
Cde. no. du client **B210B-2850/KAB**

BGH-Auftrags-Nr.
BGH works no.
BGH référence **38976502/262547**

Zeugnis-Nr.
Certificate no.
No. de certificat **511472**

Beschreibung über Werkstoffprüfung nach DIN EN 10204
Certificate of material tests according to DIN EN 10204 **3.1**
Certificat des essais des matériaux selon DIN EN 10204

Die Lieferung entspricht den vereinbarten Lieferbedingungen.
Delivery in accordance with the agreed terms of delivery.
La livraison correspond aux conditions de livraison convenues.

Zeichen des Lieferanten
Trade mark
Signe du fournisseur

Stempel des Werkstoffprüfenden
Inspector's stamp
Poignon de l'inspecteur



Fertigung nach QM-System ISO 9001: 2015/ QM system in effect is ISO 9001: 2015
Zertifiziert nach / certificated AD2000 WD.
Kontrolle auf Radioaktivität ohne Befund, der Messwert liegt unter der Nachweisgrenze von 0,1 Bq/g.
Radioactivity inspection without objection, the measured value is below the detection limit of 0.1 Bq/g.

Anlagen
Endl.
Annex

Freital
Place and date
Lieu et date
19.03.2022

Abnahmesbeauftragter
Inspector representative
Inspecteur de réception
Kadner

Das Zeugnis wurde maschinell erstellt und ist auch ohne Unterschrift gültig.

This certificate was generated by data system and it is valid without signature as well.
Ce certificat a été établi sur système informatique et est valable sans signature aussi.