



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA HLAVNÍ

BARREL PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Dušan Brejčák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

BRNO 2021

Zadaní bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Dušan Brejčák
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.
Akademický rok:	2020/21

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

Výroba hlavní

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Kvalita hlavně palné zbraně je jedním z určujících faktorů pro přesnost a účinnost zbraně. Hlavně ručních zbraní je možné zhotovit obráběním s následným protlačením vývrtu, ale z hlediska jejich pevnostních vlastností je výhodné hlavně kovat. Na výrobní postup malorážové hlavně s využitím technologie rotačního kování je orientována i bakalářská práce.

Cíle bakalářské práce:

- Zhodnotit technologičnost malorážových hlavní.
- Uvést specifika hlavní ručních zbraní.
- Analyzovat možné způsoby výroby řešené součásti.
- Analyzovat vliv plastické deformace na vlastnosti tvářeného dílce.
- Popsat metodu rotačního kování a možnosti jejího uplatnění při výrobě zbraní.
- Zpracovat technologický postup výroby kované malorážové hlavně.

Seznam doporučené literatury:

ASM-Metals Handbook: Formig and Forging. Vol.14. USA ASM International. 2004. 978 s ISBN 0-87170-020-4.

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

LIDMILA, Zdeněk, Jan LUKEŠ a Emil SVOBODA. Strojírenská technologie II, Technologie ve výrobě zbraní a munice. VA Brno. 1999.169 s.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření II. Brno: Univerzita obrany, 2008. 106 s. ISBN 978-8-7213-580-2.

NEZVAL, Vít. Zlepšování užitečných parametrů balistických měřidel, Disertační práce. Brno: Univerzita obrany, Fakulta vojenských technologií. 2018.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

BREJČÁK Dušan, Výroba hlavní

Bakalářská práce obsahuje základní specifika hlavní palných zbraní. Dále uvádí volbu polotovaru, možné metody výroby drážkované hlavně, popis metody rotačního kování, využití rotačního kování a základní principy kovacích strojů. V poslední kapitole je uveden technologický postup výroby zadané hlavně, který je zobrazen popisem operací a k nim i příslušné obrázky.

Klíčová slova: hlaveň, rotační kování, kovaná hlaveň, výroba hlavní, drážkování

ABSTRACT

BREJČÁK Dušan, Barrel production

Bachelor's thesis contains basic specifics of arms barrels. Further presents choice of semi-finished product, possible production methods of grooved barrel, description the method of rotary forging, usage of rotary forging and main principles of forging machines. There is shown technological proces of specified barrel in the last chapter, which is displayed by description of operations with a relevant pictures.

Main words: barrel, rotary forging, forged barrel, barrel production, grooving

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BREJČÁK, Dušan. Výroba hlavní [online]. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132190>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Zdeněk Lidmila.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 20.5.2021

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

ZADÁNÍ

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

ÚVOD.....	9
1. ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1. Možné volby polotovaru	11
1.1.1. Odlévání.....	11
1.1.2. Hutní polotovar.....	11
1.2. Možné volby vývrtní drážek.....	11
1.2.1. Drážkování.....	12
1.2.2. Protlačování	12
1.2.3. Rotační kování	13
1.3. Zvolený postup výroby.....	13
2. LITERÁRNÍ REŠERŠE	15
2.1. Příprava otvoru	15
2.1.1. Vrtání hlubokých otvorů.....	15
2.1.2. Úprava povrchu otvorů	20
2.2. Kování	21
2.2.1. Plastická deformace	22
2.2.2. Rotační kování	30
3. TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY MALORÁŽOVÉ HLAVNĚ.....	35
4. ZÁVĚR.....	42

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

SEZNAM OBRÁZKŮ

SEZNAM TABULEK

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SEZNAM PŘÍLOH

ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5]

Střelné zbraně jsou součástí lidstva už velmi dlouho. Jsou používány převážně v armádě, ale také na lov zvěře, ke sportovním účelům, nebo samotnou sebeobranu. Kdy přesně se zbraně začaly používat, se neví, avšak v Evropě jsou první zmínky psány ve 14. století. Postupem času byly vynalezeny nové technologie a v dnešní době jsou všechny zbraně na úplně jiné úrovni, než byly kdysi. Na obr. 1 je znázorněna jedna ze starších typů, francouzská perkusní pistole. Moderní útočná puška M4, která je momentálně používána armádou USA je na obr. 2.

Jedna z nejdůležitějších částí střelné zbraně je hlaveň. Ta vede střelu, než opustí zbraň, pomocí drážek uděluje kulce rotaci, čímž se zvyšuje přesnost zásahu. V zadní části se nachází nábojková komora, ve které se nachází náboj před i během výstřelu. Na obr. 3 je řez hlavní. Na obr. 4 je ukázané drážkování uvnitř hlavní.



Obr. 1 Francouzská perkusní pistole [4]



Obr. 2 Útočná puška M4 [5]



Obr. 3 Řez hlavní [3]



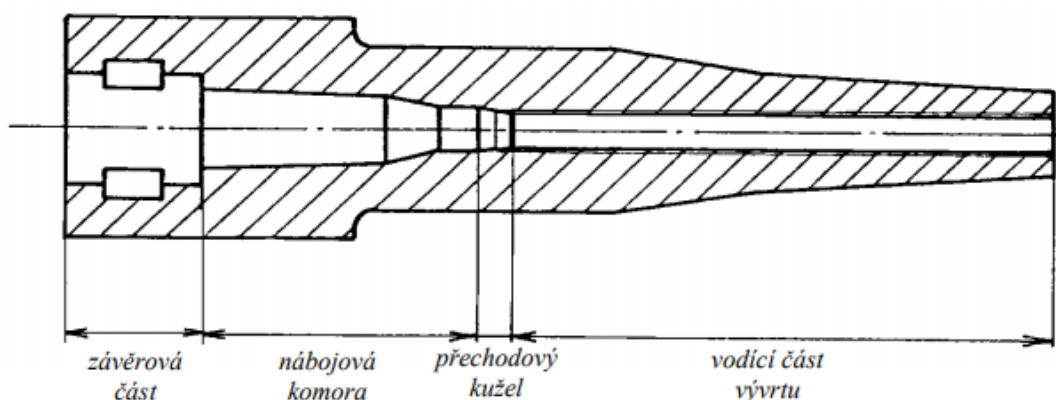
Obr. 4 Drážkování hlavní [4]

1. ROZBOR ZADÁNÍ [6]

Řešenou součástí je hlaveň, což je základní součást každé hlavňové zbraně. Obecně je určena k udělení počáteční rychlosti střely v určitém směru a také k udělení rotace. U palných zbraní jsou zdrojem energie, která uvádí střelu do pohybu plyny, vznikající při hoření prachové náplně.

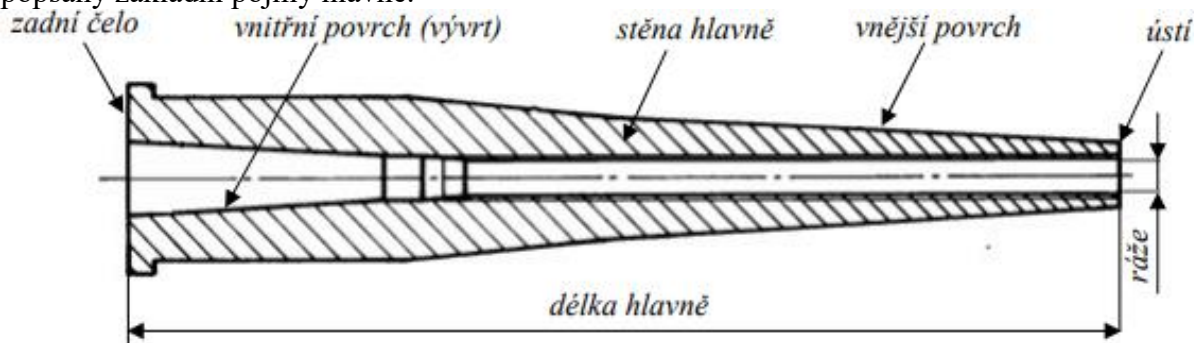
Vnitřní prostor hlavně se nazývá vývrt a je rozdělen na dvě části – nábojovou komoru a vodící část vývrtu. Tyto části zabezpečují spolehlivé nabíjení, těsnění střely a u drážkovaných hlavních její rotaci kolem podélné osy. Největší průměr má na počátku, směrem k ústí se zmenšuje podle tvaru náboje. Je tvořen některými nebo všemi částmi, které jsou na obr. 5:

- Závěrová část hlavně, která slouží k propojení závěru s hlavní
- Nábojová komora, která svými rozměry a tvarem odpovídá náboji
- Přechodový kužel, který tvoří přechod mezi nábojovou komorou a vodící částí vývrtu, u drážkovaného vývrtu v něm začíná drážkování
- vodící část vývrtu, která může být hladká nebo drážkovaná



Obr. 5 Členění vývrtu hlavně [6]

Tloušťka stěny je navržena tak, aby odolala všem zatížením během výstřelu. Pro vyšší bezpečnost se hlaveň naddimenzuje, aby vydržela i v případě většího zatížení. Největší tlak vzniká při výstřelu v zadní části, proto v těchto místech je tloušťka největší. Na obr. 6 jsou popsány základní pojmy hlavně.



Obr. 6 Základní pojmy hlavně [6]

Základní rozměry související s druhem zbraně jsou ráže a délka hlavně.

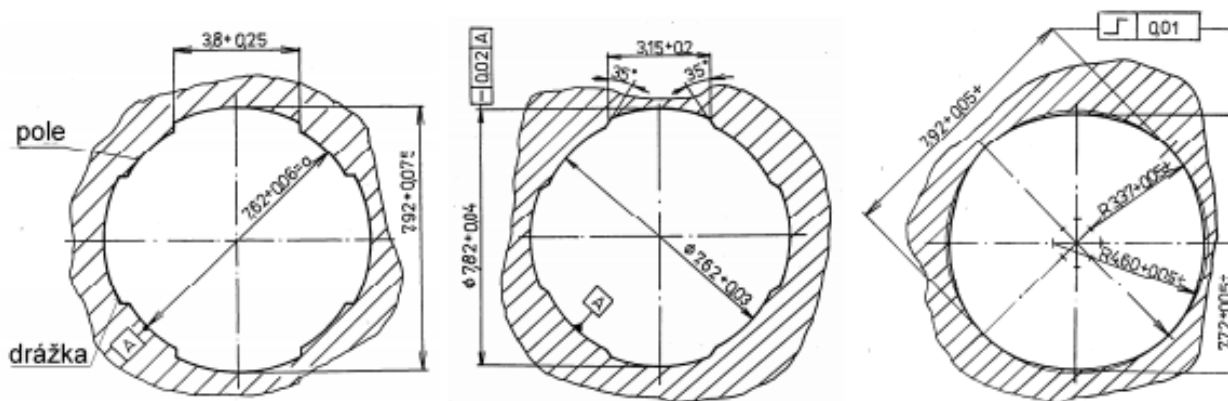
Ráže je smluvní velikost průměru vodící části vývrtu hlavně. Podle ráže se hlaveň rozděluje se na malorážové (do 20 mm), které obvykle vystřelují střely plášťové a dělové (nad 20 mm), které vystřelují většinou střely s vodící obroučkou.

Délka hlavně určuje vzdálenost mezi zadním čelem a ústím.

Drážkovaná část slouží k udělení počáteční rychlosti a rotaci vystřeleného náboje. Skládá se z drážek a polí, do kterých se vřezává vodící část střely (plášť nebo vodící obroučka). Například u malorážek bývá hloubka drážek $(0,015 - 0,025)d$, kde d je ráže hlavně. Malá hloubka snižuje

životnost hlavně, naopak velká hloubka způsobuje deformaci střely. Počet drážek je ve většině případů sudý, avšak existují i hlavně s lichým počtem.

Tvar drážek může být různý. Pravoúhlý tvar se hodí pro třískové obrábění a je zobrazen na obr. 7 zleva. Způsobem rotačního kování či protlačování se prezentuje nejčastěji tvar lichoběžníkový, jenž je na obr. 7 uprostřed. Polygonální vývrt je tvořen kruhovými oblouky tečně navazujícími, jejichž středy leží mimo osu hlavně, obr. 7 zprava. Poslední možnost mírně zvyšuje životnost hlavně, dobře těsní střelu a je vhodný z hlediska údržby.



Obr. 7 Druhy drážek [6]

Stoupání drážek je většinou konstantní a úhel stoupání se volí podle požadavků na stabilitu střely. Obvykle se uvádí jako délka jednoho zákrutu v mm. S tím úzce souvisejí otáčky střely na ústí, které jsou závislé na úhlu stoupání a úst'ové rychlosti.

1.1. Možné volby polotovaru [7]

U hlavní jsou vysoké nároky na pevnost, kvalitu povrchu a rozměrovou přesnost. S ohledem na požadovanou přesnost bude třeba v každém případě dokončovat obráběním. Základní polotovar může být zhotoven několika možnými způsoby.

1.1.1. Odlévání [8]

Odlití polotovaru hlavně je jedna z možných variant. Pro součást tvaru trubky by se použila metoda odstředivého lití, tj. odlévání do rotující formy. Tato metoda není však vhodná pro výrobu malých průměrů a tedy ani pro odlévání malorážových hlavní. Odlitek by však nesplňoval ani pevnostní požadavky, které jsou na tuto vysoce namáhanou součást kladeny.

1.1.2. Hutní polotovar [9]

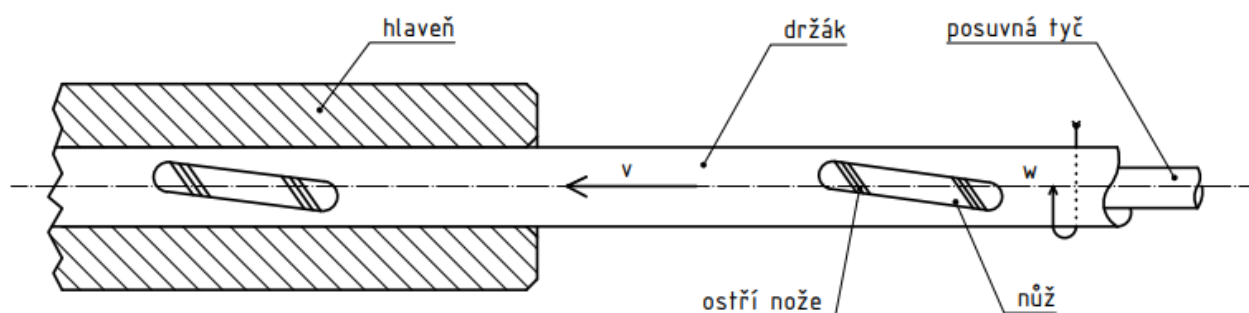
Samotná tyč o určitém průměru je druhá možná varianta. Hutní polotovar ve formě tyče bude vhodným výchozím polotovarem. Protože je jedním ze způsobů výroby drážek v hlavní, jak bude uvedeno dále, rotační kování, lze prokováním hutního polotovaru zlepšit jeho mechanické vlastnosti. Takto zhotovená hlaveň bude mít pak i nejvyšší pevnost.

1.2. Možné volby vývrtu drážek [11]

Drážkovaný vývrt hlavně je soustava vodících ploch ve tvaru šroubovice, která má za úkol utěsnit střelu v hlavní jejím zaříznutím do drážek a udělit střele přesně definovanou rotaci kolem její podélné osy. Tato rotace stabilizuje let projektilu a tím zvyšuje přesnost a dostřel zbraně.

1.2.1. Drážkování [7], [12]

Drážkování je nejstarší metoda pro výrobu drážek hlavní. Probíhá na speciálním drážkovacím stroji pomocí drážkovacího nože ve speciálním držáku. Schéma procesu je na obr. 8.



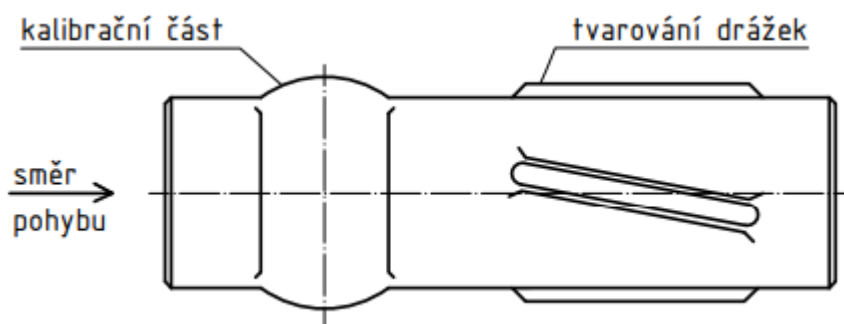
Obr. 8 Schéma procesu drážkování [12]

Hlaveň je během procesu pevně upnuta a držák koná přímočarý ale i rotační pohyb kolem své osy. Hrana drážkovacího nože se pohybuje po šroubovici a vytváří drážky. Používají se jednobřité i dvoubřité nože pro oboustranný záběr. Při použití jednobřitého vytváří drážku pouze v jednom směru a to při tažení. Při tlačení zpět se nůž pohybuje naprázdno a neřeže již žádné další drážky. Naopak když je použit dvoubřitý nůž, tak je drážka řezána jak směrem dopředu, tak i směrem zpět.

Tato metoda se používá při drážkování měkkých materiálů, protože při drážkování tvrdých materiálů se nože velmi rychle opotřebují a je třeba je brousit či případně měnit. Drážkování je v dnešní době nahrazeno jinými metodami a to hlavně z hlediska efektivnosti a produktivity.

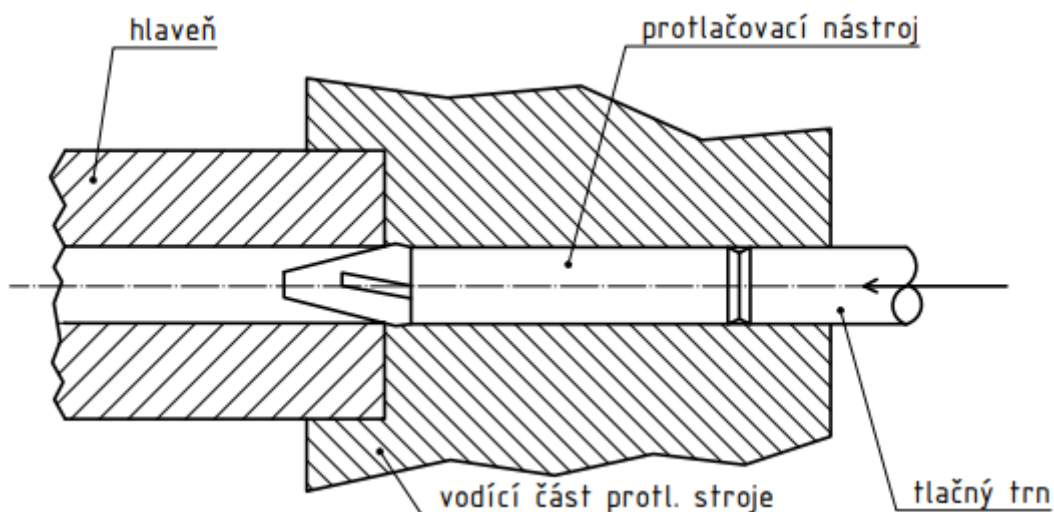
1.2.2. Protlačování [7], [12]

Tato metoda bývá prováděna pomocí hydraulického lisu, který tlačí na nástroj – tlačný trn a ten vytvoří drážky v celé požadované délce. Tlačný trn je tvořen přední tvarovací částí, která jak už podle názvu tvaruje drážky a kalibrační částí, která kalibruje průměr v polích. Nástroj je na obr. 9. Povrch vývrtu musí být vyroben před protlačováním na hotovo, vyleštěn a poměděn. Malá vrstva mědi snižuje tření při protlačování trnu.



Obr. 9 Tlačný trn [12]

Samotné schéma protlačování je zobrazeno na obr. 10.



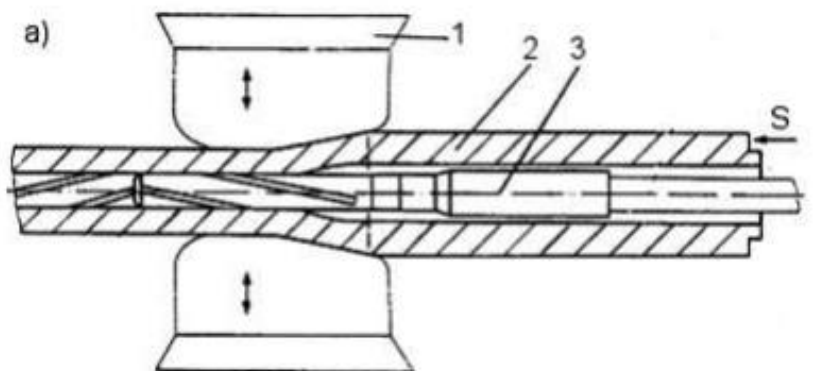
Obr. 10 Schéma procesu protlačování [12]

Protlačování se využívá u hlavni s velkou tloušťkou stěny a z materiálů, které jsou méně pevné kvůli velkému namáhání na vzpěr. Protlačováním se ovšem vyrobí pouze drážky, nábojová komora musí být zhotovena pomocí obrábění.

1.2.3. Rotační kování [10], [11]

V této metodě nedojde k porušení vláken a kování zajistí protváření struktury a vyšší pevnost. Během procesu kování se používá speciální kovací olej, který zlepšuje průběh plastické deformace a snižuje možnost nalepení materiálu kované hlavni na kovací trn, nebo zakování trnu. Kování hlavni se provádí nejčastěji za studena. Schéma procesu je na obr. 11.

Výhodou při přípravě polotovaru hlavni prokování je kratší délka polotovaru než výsledného výkovku hlavni. Délka polotovaru tvoří asi 60% délky vykované hlavni. Také požadavky na toleranci jsou nižší. Jakákoliv vada je při kování "rozkována" na větší rozměry.



1 - kovací kladiva; 2 - polotovar hlavni; 3 - kovací trn; S - posuv

Obr. 11 Schéma procesu rotačního kování [11]

1.3. Zvolený postup výroby [9], [10], [11]

Z uvedeného rozboru možné volby polotovaru a zhotovení drážek ve vývrtu hlavni vyplývá, že optimální postup bude:

- Výchozím polotovarem bude tyč vhodného průměru a s délkou podstatně kratší, než je délka hotové hlavni
- Zhotovení vývrtu
- Rotační kování, při kterém se zhotoví požadovaný tvar drážek ve vývrtu, polotovar se prodlouží na délku a současně tak dojde k protváření materiálu

- Dokončující mechanické a tepelné zpracování

Hlavní výhodou této metody je to, že zde dojde ke zpevnění materiálů. Další předností zvoleného postupu je skutečnost, že jedna z nejnáročnějších operací ve výrobním postupu, tj. vrtání vývrty, se uskuteční na podstatně kratší délce polotovaru. Oproti postupu, kdy by se celá hlaveň pouze obráběla, zde bude vrtána délka v polotovaru odpovídající cca 2/3 délky hlavě.

2. LITERÁRNÍ REŠERŠE [10], [12]

S ohledem na navržený výrobní postup součásti bude tato kapitola zaměřena na stěžejní operace, tj. příprava otvoru před kovááním a potom samotné kováání.

2.1. Příprava otvoru [12]

Jelikož jako polotovár byla zvolena tyčovina o určitém průměru, je nutné nejprve vyvrtat díru daného průměru. Po této operaci je ovšem nutné otvor připravit na samotný proces kováání neboli výrobu vývrtu. To je nejčastěji prováděno některou z dokončovacích operací.

2.1.1. Vrtání hlubokých otvorů [10], [12]

Většina základních teoretických poznatků o vrtání běžných otvorů může být aplikována také na vrtání hlubokých otvorů. Avšak vrtání hlubokých otvorů má plno specifik a zvláštností, které jej oproti klasickému vrtání vyčleňují na samostatnou technologickou oblast.

Většinou je vrtání hlubokých otvorů charakterizováno vysokým úběrem materiálu a vysokou přesností s ohledem na přímot otvoru, drsnost povrchu a rozměrové tolerance. Tyto extrémní požadavky jsou při vrtání hlubokých otvorů kladeny na nástroj, stroj a příslušné vybavení.

Vrtání hlubokých otvorů je včetně obrábění hlavní palných zbraní možno najít v širokém spektru dalších průmyslových odvětví, jako jsou např. ocelářství, jaderný, chemický, petrochemický, plynárenský, plastikářský nebo kosmický průmysl. I zde jsou kladeny vysoké požadavky na jakost, především na tvarové a rozměrové tolerance obráběného otvoru. Součásti v těchto odvětvích jsou velmi drahé a případné zmetky mohou mít značné ekonomické následky. Při vrtání hlubokých otvorů je tedy vždy dána priorita spolehlivosti vrtání. Všechny prostředky, nástroje a vrtací systémy, které jsou vyvinuté pro tento druh vrtání, zajišťují jakost otvoru, která je v některých případech žádána i při vrtání krátkých otvorů.

Termín "hluboký otvor" se obecně používá pro označení otvorů s velkou hloubkou v poměru s průměrem otvoru. Tento poměr L:D bývá často v mezích 10:1 až 100:1, v mimořádných případech i více. Vrtání hlubokých otvorů je charakterizováno vysokým úběrem materiálu a vysokou přesností s ohledem na přímot otvoru, rozměrové tolerance a drsnost povrchu. Nástroj má vysokou řezivost, díky tomu je schopen obrábět v toleranci IT8 až IT10 s dosahovanou drsností $R_a = 0,1$ až $3 \mu\text{m}$, což znamená, že metody vrtání hlubokých otvorů mohou konkurovat i klasickému vrtání o menších hloubkách.

Hloubka otvoru zvyšuje požadavky na nástroje a na technologické podmínky pro zajištění mazání, chlazení a dobrého lámání třísek zároveň s jejich odvodem. Při hlubokém vrtání je nutný intenzivní přívod řezné kapaliny. Vysokého úběru materiálu je zde možno dosáhnout užitím zvlášť vyvinutých systémů pro vrtání hlubokých otvorů. Používají se zde tři metody vrtání:

- Vrtání do plného materiálu – je to nejčastější metoda pro malé průměry, používá se k vrtání otvoru v jedné jednoduché operaci
- Vrtání na jádro - to se používá pro velké průměry otvorů, protože u něj jsou nižší požadavky na výkon stroje. Rovněž se provádí na jednu operaci, ale místo odvrtávání materiálu ve tvaru třísek zůstává ve středu jádro. V případě dražších materiálu je jádro poté využito pro jiné účely. Při výměně břitových destiček na vrtáku musí být nástroj vytažen z otvoru a v důsledku váhy volného (ohýbajícího se) jádra není snadné zavést vrták zpět do otvoru.
- Vyvrtávání – používá se především pro dosažení lepší drsnosti povrchu a přesnosti otvoru. Jestliže výkon stroje není dostatečný na vrtání do plného materiálu během

jedné operace, otvor může být předvrtán menším vrtákem a poté rozšířen na konečný průměr tlačným vyvrtáváním. V této situaci nástroj sleduje osu již existující díry. Tažné vyvrtávání je používáno při obrábění tenkostěnných součástí. Nástroj odebírá třísky až při svém vytažování ze součásti, to znamená, že prvně otvorem prochází tažná tyč nástroje a pak až samotný nástroj.

Metody vrtání hlubokých otvorů jsou na obr. 12.

Volba vhodné metody hlubokého vrtání pak tedy závisí na:

- Průměru otvoru
- Materiálu součásti
- Žádané toleranci
- Výkonu stroje

Pro vrtání hlubokých otvorů se používají tyto tři systémy:

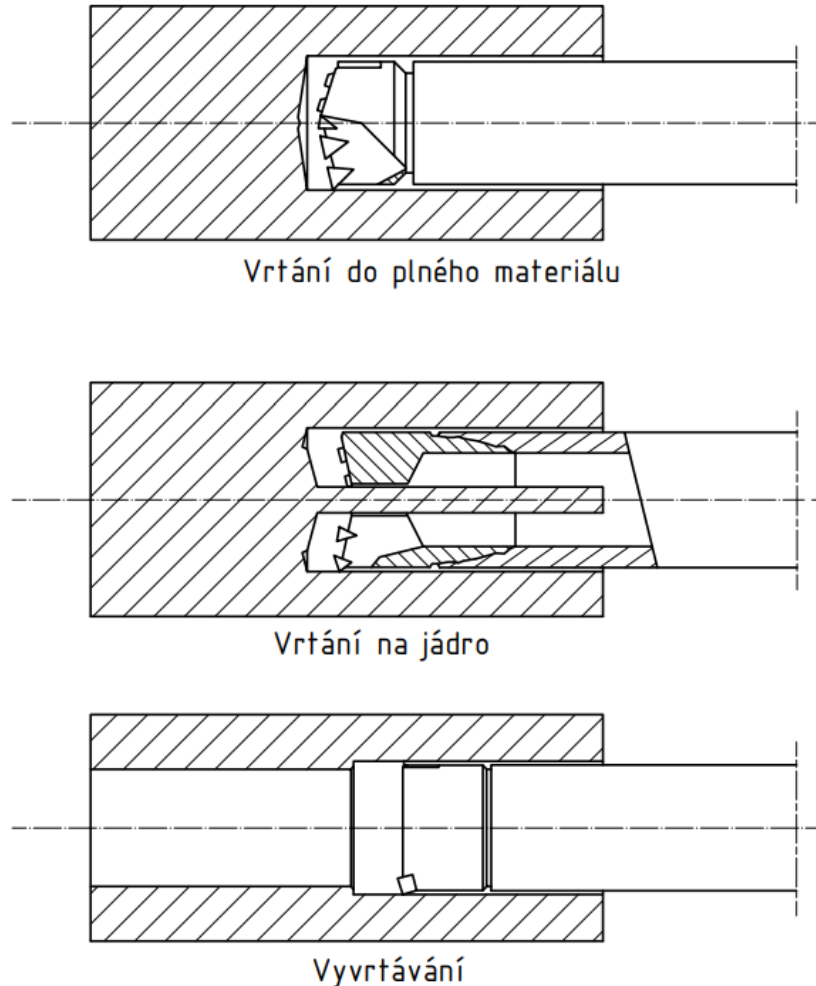
- Vrtání hlavnovým vrtákem
- Systém BTA
- Systém ejektorový

Jako nevyšší priorita při hlubokém vrtání je uspokojivé lámání třísek a jejich plynulé odvádění z otvoru bez poškození obráběného povrchu. Čím je hloubka otvoru větší, tím jsou požadavky na bezporuchový odvod třísky náročnější. Lámání a odvod třísek podporuje řezná kapalina, která je při tomto druhu vrtání dodávána ve větším množství oproti klasickému vrtání.

Používají se dva způsoby přívodu řezné kapaliny a odvodu třísek

- Řezná kapalina je přiváděna vnitřkem nástroje a následně třísky zároveň s kapalinou jsou odváděny vnějším žlábkem nosného tělesa vrtáku. Tento princip je využíván u hlavnových vrtáků, kde jsou třísky odváděny speciálním žlábkem, který má tvar písmena V.
- Řezná kapalina je přiváděna vněškem a třísky s řeznou kapalinou jsou poté odváděny vnitřkem nástroje.

U použití hlavnového vrtáku je řezná kapalina tedy přiváděna vnitřkem a odchází i s třískami prostorem mezi vyvrtaným otvorem a žlábkem ve vrtáku. Zde je nutné použít těsnění mezi součástí a vrtacím pouzdrům. Nevýhoda této metody je, že se třísky s kapalinou odvádí v místě, kde je již vyvrtaný požadovaný otvor a může tak dojít k poškození povrchu otvoru. Kromě toho



Obr. 12 Metody vrtání hlubokých otvorů [12]

může však dojít i k zamačkávání mikroskopických třísek do povrchu otvoru, třísky mohou poškozovat vodítka a to vše zhoršuje kvalitu vyvrtaného otvoru.

U systému ejektorového je kapalina přiváděna do místa řezu prostorem mezi vnitřní a vnější trubkou. Většina rezné kapaliny dojde až k rezným břitům a vodícím lištám, část kapaliny však protéká zpět otvory ve vnitřní trubce a vyvolává tak podtlak, který způsobí nasávání znečištěné kapaliny s třískami. U tohoto typu vrtání pak nedochází k rozstříkávání rezné kapaliny.

U BTA systému se používá jen jedna trubka, na které je čtyřchodým plochým závitem našroubován vlastní nástroj. Toto je jediný vhodný způsob pro vrtání na jádro a je taktéž vhodný pro vrtání materiálů s obtížným lámáním třísek. Je také používán u nehomogenních materiálů, jelikož vysoký tlak kapaliny napomáhá lámání třísek. Z toho důvodu je také vhodný pro extrémní hloubky otvorů ve velkých a dlouhých součástech. U BTA systému je kapalina tlačena mezi stěnou otvoru a trubkou vrtáku. To znamená, že kapalina musí mít dostatečný tlak a musí být v dostatečném množství, aby účinně odstranila třísky. K vrtání jednotrubkovým nástrojem se používají pouze speciální stroje.

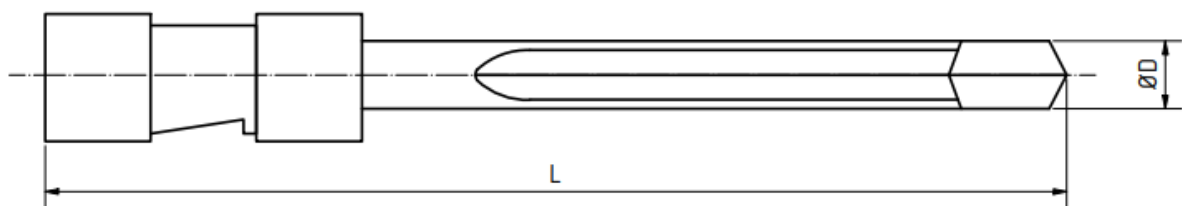
Po zvolení vhodného systému hlubokého vrtání a po výběru metody vrtání je třeba vybrat nástroj takový, aby byly splněny kvalitativní, spolehlivostní a ekonomické předpoklady.

Pro vrtání hlavní se dříve používal většinou dělový vrták, který je zobrazen na obr. 13. Ostří vrtáku může být kolmé k ose vrtáku, mírně skloněné, případně lomené. Je vhodný zejména pro méně hluboké díry s menší přesností, protože jsou u něj problémy s chlazením břitu, lámáním třísky a vrták se musí po vyvrtání určité hloubky vytáhnout, aby se odstranily třísky. Zároveň třísky poškozují povrch otvoru. Mezi další nedostatky patří nízká trvanlivost břitu a také časově velmi náročný postup.



Obr. 13 Dělový vrták [12]

V dnešní době se používají hlavňové vrtáky. Ty jsou užívány pro obrábění malých průměrů s úzkými tolerancemi. Tento typ vrtáku je dostupný ve dvou verzích, jako monolitický vrták ze slinutého karbidu anebo jako vrták, osazený břitovými destičkami ze slinutých karbidů. Konstrukce hlavňového vrtáku je na obr. 14.



Obr. 14 Konstrukce hlavňového vrtáku [12]

Hlavňové vrtáky, které jsou osazeny břitovými destičkami, jsou používány pro větší průměry. Tyto vrtáky s břitovými destičkami umožňují lepší možnost optimalizace nástrojového materiálu než monolitické vrtáky. Naopak u menších průměrů jsou více využívány monolitické vrtáky, protože mohou být hospodárnější v sériové výrobě, díky jejich délce přebroušení, která je o něco větší, než u vrtáku stejného průměru osazeného břitovými destičkami.

Hlavňový vrták je přesný nástroj pro vrtání jak krátkých, tak zejména hlubokých otvorů. Samotný nástroj je tvořen vrtací hlavou z rychlořezné oceli nebo ze slinutého karbidu, případně s připájenými destičkami ze slinutého karbidu, které jsou připájeny na držák.

Vrtat lze i velmi tvrdé materiály. Délka vrtaného otvoru není teoreticky omezena, ale prakticky je limitována torzní tuhostí stopky vrtáku. Používá se pro vrtání otvorů malých

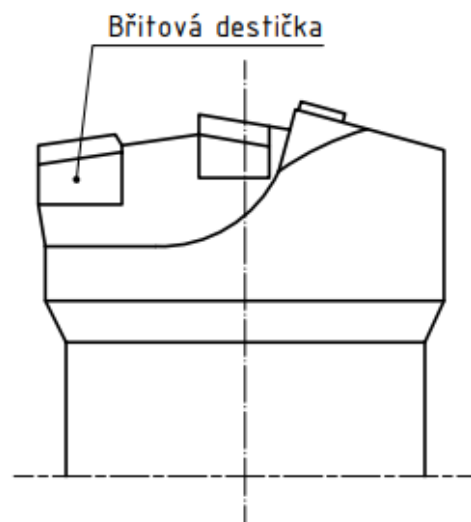
průměrů a vrtání pro hloubky až 100D. Při použití speciálních opěrných lunet a při dostatečném výkonu čerpadla je možné vrtat až do hloubky 200D.

Přebušovat tyto vrtáky lze na běžných bruskách. Původní geometrii je možno udržet s opakovatelnou přesností díky speciálním přípravkům. Běžné broušení zajišťuje dobrou tvorbu třísky u většiny obráběných materiálů. Jestliže chceme větší pevnost a delší trvanlivost vrtáku, může být provedeno vnější sražení břitu.

Dále mohou být dnes využívány vrtáky ejektorové a BTA vrtáky s připájenými nebo vyměnitelnými břitovými destičkami. Tyto vrtáky mohou být užity pro vrtání do plného materiálu. Volba vrtáku závisí na průměru otvoru. Ejektorový systém používá vrtací hlavičky vyráběné s pájenými i vyměnitelnými destičkami. Jejich volba závisí na materiálu obráběné součásti a na faktorech provozní hospodárnosti.

Přebroušení břitu destičky je relativně nákladná záležitost, navíc povolené opotřebení není tak velké jako u vyměnitelných břitových destiček. Výhodou při přebroušení je možnost lepšího přizpůsobení geometrie vrtáku pro vrtání speciálního materiálu. Pokud jsou použity břitové destičky, které mají utvařeče třísky, ale nedávají nám vhodnou třísku a rezné podmínky nezaručují žádané výsledky, potom je možné použít břitové destičky bez utvařečů.

Vícebřité vrtací hlavy s připájenými břitovými destičkami jsou používány pro střední průměry do $D = 65$ mm. Vrtací hlava s připájenými břitovými destičkami je na obr. 15. Povolené opotřebení těchto destiček je $VB = 0,8$ až $1,4$ mm. Díky tomu jsou na pájené břitové destičky vyšší náklady na jednotku délky vrtání, než při použití vyměnitelných destiček. Na vrtací hlavě jsou tři břitové destičky a jejich dráhy se překrývají. Utvařeče třísky jsou na každé ze tří destiček tak, že šířka utvařeče je větší než na centrální destičce a to umožňuje stejnosměrné utváření třísek.



Obr. 15 Vrtací hlava s připájenými břitovými destičkami [12]

Vrtací hlavy s vyměnitelnými břitovými destičkami jsou používány u ejektorových a BTA systémů. Nástroj s vyměnitelnými břitovými destičkami je vhodný pro všechny způsoby vrtání, tedy pro vrtání do plna, na jádro a vyvrtávání. Vrtací hlava s vyměnitelnými destičkami má výhodu, že opotřebené destičky lze nahradit novými, to zároveň snižuje náklady na obrábění. Dosahovaná rozměrová tolerance je zde IT 8 až IT 10 a drsnost $R_a = 3\mu\text{m}$. Dovolené opotřebení vyměnitelných destiček je $VB = 0,4$ až $0,8$ mm. Ukázka hlavy s vyměnitelnými břitovými destičkami je na obr. 16.



Obr. 16 Vrtací hlava s vyměnitelnými břitovými destičkami [12]

Dále je nutné zvolit materiál nástroje a tvar břitové destičky. Moderní hlubokovrtací nástroje jsou osazeny kazetami s upínáním destičky za otvor. Obdélníkové destičky jsou užity u obvodových kazet, trojúhelníkové se používají pro středové a mezilehlé kazety. Velikost použité destičky je dána vrtaným průměrem.

Řezné materiály pro hluboké vrtání jsou:

- Pro monolitní nástroje buď rychlořezná ocel (RO) anebo slinuté karbidy (SK)
- Pro vyměnitelné břitové destičky buď slinuté karbidy, nebo spěkaná rychlořezná ocel.

Materiál břitu nástroje závisí hlavně na materiálu vyráběné součásti. Pro zvýšení trvanlivosti nástrojů se používají povlakované SK nebo RO. Povlaky bývají v těchto případech nejčastěji vícevrstvé.

Vrtání hlubokých otvorů se většinou provádí na speciálních strojích, které jsou pro tuto operaci určené. Jsou konstruovány pro tři kinematické varianty:

- Rotující nástroj
- Rotující součást
- Rotující součást i nástroj

Nejčastějším případem je varianta s rotující součástí, zatímco nástroj vykonává přímočarý pohyb. Nejlepší přesnosti vrtného otvoru bude dosaženo při protisměrném otáčení nástroje i obrobku. Tato varianta je výhodná i z toho důvodu, že je docíleno zvláště vysokých řezných rychlostí. Hlavní předpoklad pro použití daného stroje je dostatečná tuhost stroje a přesné uložení vřetene. Každá nepřesnost se poté projeví chvěním a házením při vysokých otáčkách. Vzniklé axiální a radiální kmity jsou následně příčinou vylomení břitu nástroje.

Stroje pro hluboké vrtání jsou potom vyráběny jako speciální, nebo jsou upravené z klasických strojů. Lze je rozdělit na tři skupiny:

- Stroje 1. skupiny jsou konstrukčně podobné soustruhu, součást se otáčí, nástroj je pevný
- Stroje 2. skupiny jsou určeny pro vrtání typu hlavní, součást i nástroj rotují
- Stroje 3. skupiny jsou určené pro nerotační součásti, rotuje pouze nástroj

V závislosti na použitém systému vrtání se mění i požadavky na obráběcí stroj. Pro dobré lámání třísky je dobrá vysoká posuvová rychlost. Aby se třísky lámaly a zabránilo se jejich ucpávání, tak musí být posuv konstantní. Proto se doporučuje posuvový mechanismus, který má konstantní, plynule regulovatelný posuv.

Jako ochrana stroje, nástroje a součásti slouží jistý jisticí systém. Stroj by měl mít seřiditelnou ochranu proti překročení jmenovité posuvové síly. Stroj by neměl být spuštěn do doby, pokud není nastaven předseřizený minimální tlak, teplota a průtok řezné kapaliny.

Řezná kapalina bývá volena v závislosti na zvolené metodě obrábění, materiálu součásti, materiálu nástroje a na řezných podmínkách. Obecně je lepší mazací účinek požadován při:

- Nízkých řezných rychlostech
- Nesnadno obrobitelných materiálech
- Obtížných operacích
- Požadavcích na lepší drsnost povrchu

Zlepšený chladicí účinek je požadován pro:

- Vysoké řezné rychlosti
- Snadno obrobitelné materiály
- Jednoduché operace
- Problémy se vznikem nárůstkem

Vrtání hlubokých otvorů je řazeno mezi operace s vyššími nároky na řeznou kapalinu. Tyto nároky závisí na řezných podmínkách, geometrii nástroje a na obráběném materiálu. Nejčastěji bývá použit speciální řezný olej, který má za cíl chladit břit nástroje, vytvářet pod vodítky olejový film, tlumit vibrace, zamezit vzniku adhezních mŕstvků a nárůstkem a spolehlivě odvádět

třísky od místa řezání. Emulze jsou dnes spíše výjimkou a to spíše u podřadných operací, v kusové výrobě nebo při vrtání kratších otvorů.

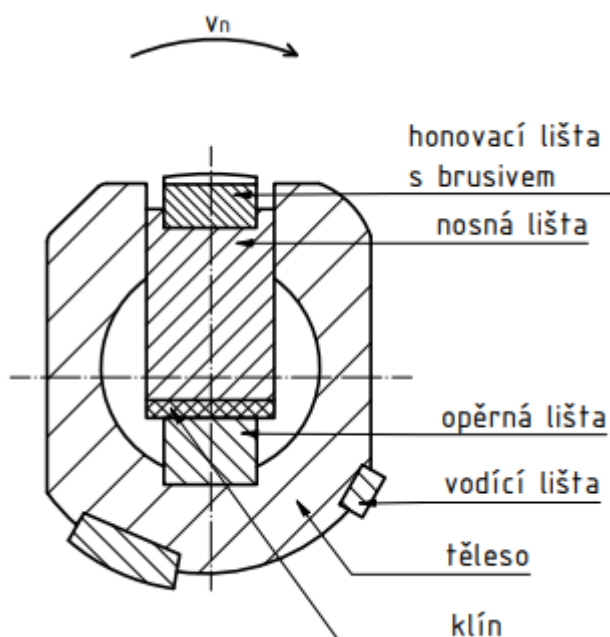
2.1.2. Úprava povrchu otvorů [10], [12]

Klíčovou výrobní operací při výrobě hlavně je leštění otvoru před kováním. Používá se buď honování anebo leštění otvoru. Při obou těchto metodách se polotovar otáčí a leštící nástroj se axiálně posouvá.

Honování vývrtu se provádí většinou u malorážových zbraní drážkovaných i hladkých před rotačním kováním vývrtu, dále jako dokončovací operace hlavní pro dosažení požadovaných úchylek tvaru, polohy a drsnosti ploch. Střední a větší hlavně se honují před výrobou drážek technologií protahování. Honování také patří v technologickém postupu výroby vývrtu před povrchovou úpravou vývrtu, kterou může být třeba chromování.

Honování hlubokých otvorů patří mezi speciální oblast technologie obrábění, pro kterou platí všeobecné zákonitosti o honování, ale pro řadu specifických vlastností (velká honovací plocha, velký poměr honované plochy k ploše honovacích kamenů, dlouhý čas jednoho zdvihu, apod.) je nutné honovat jiným způsobem, než při klasickém honování běžných ploch.

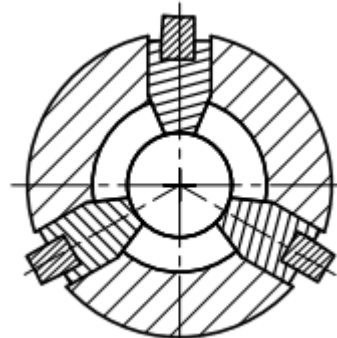
Pro honování menších průměrů (od 2,5 mm až do 30 mm) se často používá honovací hlava s jednou lištou s keramickým nebo častěji využívaným diamantovým brusivem a se dvěma vodíci lištami. Honovací hlava pro malé průměry je na obr. 17.



Obr. 17 Honovací hlava pro malé průměry [12]

Zvláštnost honovací hlavy je nesymetrické uspořádání, při kterém jsou obě vodící nebo opěrné lišty umístěny nesymetricky, což zlepšuje kruhovitost honované plochy. Honovací lišta při zachování směru otáčení při použití tohoto uspořádání podstatně rychleji zlepšuje tvar vnitřního povrchu.

U malých průměrů se pro zvýšení úběru používají speciálně konstruované honovací nástroje, které mají větší počet honovacích kamenů. U nejmenších průměrů je počet honovacích kamenů max. 3. Takto uspořádaná hlava je zobrazena na obr. 18. Tyto hlavy mají větší činnou plochu a tím větší úběr. V případě potřeby vyšších přesností jsou v přední a zadní části hlavy umístěna vodítka. Tato vodítka se používají pouze při honování hlubokých otvorů. Dle typu stroje je potom přísuv honovacích kamenů buď ruční, nebo strojní.



Obr. 18 Honovací hlava se třemi honovacími kameny [12]

K honování větších průměrů hlubokých otvorů jsou používány speciálně konstruované honovací hlavy. Od běžných honovacích hlav se liší počtem honovacích kamenů a vodících ploch. Běžné honovací hlavy mají jednu řadu honovacích kamenů, zatímco zde bývají v závislosti na

délce a průměru honovaného otvoru 2 až 3 řady kamenů za sebou, a stejný nebo větší počet vodících ploch.

Délka honovacího kamene závisí na délce honovaného otvoru, obvykle se volí 0,7 až 1 délka honovaného otvoru. Při zvětšování poměru honované délky k průměru otvoru se délka honovacích kamenů zmenšuje. To se projevuje dlouhou dobou honování a také tím, že honovací proces nemusí probíhat rovnoměrně po celé délce otvoru.

Proces honování hlubokých otvorů se provádí většinou na vodorovných honovačkách. U čela honované součásti se musí umístit honovací žlab, který vede nástroj při vstupu do honovaného otvoru. Aby byly odstraněny radiální výkyvy a chvění honovací hlavy, musí být mezi jednotlivými řadami honovacích kamenů vodící část, která se nastavuje podle průměru honované plochy. Aby byly zabezpečeny optimální podmínky pro honování, mezera mezi honovanou a vodící plochou musí být do 0,1 mm.

Při honování průměrů nad 50 mm se otáčí i honovaná součást, jinak by se vlivem hmotnosti honovací hlavy objevila oválnost otvoru. Při nepohyblivé součásti pak tato oválnost způsobuje zvýšený tlak kamenů na dolní část otvoru, který způsobí větší úběr materiálu v této části.

Co se týká leštění, tak to se také provádí u malorážových zbraní drážkovaných i hladkých před rotačním kováním vývrtnu. Dále je používáno jako dokončovací operace hlavní, kde jsou vysoké požadavky na vzhled a funkčnost, případně i drsnost povrchu. Stejně jako u honování se leštění zařazuje v technologické postupu vývrtnu před povrchovou úpravou vývrtnu. Při leštění je třeba používat vhodný řezný olej. V současné době se provádí třemi základními způsoby:

- Pomocí olověného negativního odlitky vývrtnu – do vertikálně upnuté hlavě je vsunuta tyčka a zalita olovem. Po ochlazení je možné tyčku vyjmout, do povrchu je zatlačené jemné brusivo a tímto nástrojem, který koná střídavý krouživý pohyb při současném posouvání v ose hlavě je prováděno leštění.
- Na speciálních strojích, kdy se k leštění používají nástroje blízké pro honování hlavě. Podmínky jsou zde však jiné než při honování, jsou zde upraveny pro dosažení vysokého lesku.
- Pomocí leštících kroužků – dva kroužky, vnější je vyroben z plastické hmoty, do které je přimícháno brusivo. Tento kroužek je pružný, aby se mohl při procesu leštění deformovat. Vnitřní kroužek je vyroben ze stejné hmoty, avšak je už tvrdší a pevnější. Na tyčku se poté nasadí vnitřní a na něj vnější kroužek a stlačováním tohoto vnějšího kroužku dochází k jeho deformaci, tím se nastavuje potřebný průměr a přítlak mezi nástrojem a leštěnou plochou. Nástroj vykonává stejný pohyb jako v prvním způsobu.

U malorážových zbraní jsou vysoké požadavky na jakost povrchu, proto se vyžaduje leštění nábojových komor a přechodových ploch. Leštění těchto ploch se provádí pomocí smirkování, to znamená, že na tvarově stejný, ale menší nástroj je nanášen smirkový prášek nebo se připevní smirkové plátno. Při otáčení součásti se ručním působením na nástroj dolešťují plochy v otvoru. Tento postup probíhá tak dlouho, dokud rozměrové parametry odpovídajících ploch vyhovují při kontrole kalibrem. Tato operace je složitá, protože při odstranění většího množství materiálu se ze součásti stává zmetek, proto by tuto operaci měli provádět pouze zkušení pracovníci.

2.2. Kování [12]

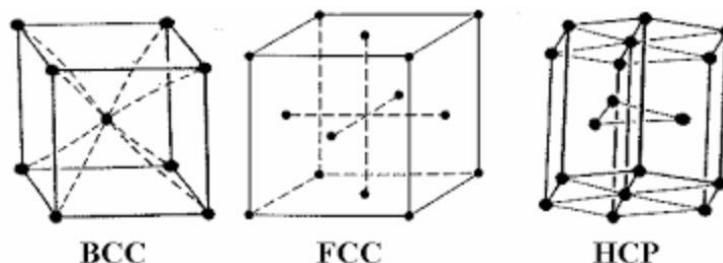
Objemové tváření za studena i za tepla patří k základním výrobním technologiím při výrobě zbraní. Zápustkovým kováním se např. vyrábí rošty raket nebo pomocí technologie zpětného protlačování se vyrábí nábojnice. Mimo to se kování používá na výrobu hlavní nebo těla střely.

2.2.1. Plastická deformace [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22]

Podstata plastické deformace

V důsledku kovové vazby vytvářejí kovové materiály v tuhém stavu krystalickou strukturu. Jednotlivé krystaly jsou tvořeny atomy kovu, které jsou pravidelně uspořádány v krystalových mřížkách. Kovy a slitiny jsou polykrystalické a jsou tvořeny množstvím krystalů. Při jejich tvorbě a krystalizaci kovu z taveniny vznikají krystaly různě orientované, které mají různé tvary a velikosti.

Kovy krystalují v krychlové nebo šesterečné soustavě. V krystalové mřížce prostorově středěné (BCC) krystaluje třeba železo α a δ , chrom, wolfram nebo molybden. BCC mřížka je na obr. 19 vlevo. V krystalové mřížce plošně středěné (FCC), obr. 19 uprostřed krystaluje železo γ , měď, hliník nebo třeba stříbro. V šesterečné mřížce (HCP), která je vidět také na obr. 19 vpravo, pak krystaluje hořčík, zinek a titan.



Obr. 19 Základní typy krystalových mřížek [15]

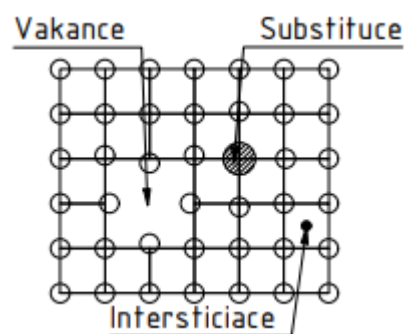
V jaké krystalové mřížce daný kov krystaluje, závisí na vlastnostech atomů, velikosti soudržných sil, které mezi nimi působí a na teplotě a tlaku. Při jiných vnějších podmínkách, třeba při změně teploty, mohou mít kovy i různou krystalovou mřížku. Jako dobrý příklad se hlásí tuhnutí čistého železa, které krystaluje při teplotě 1539°C z taveniny na krychlovou, prostorově středěnou mřížku, ta zůstává až do teploty 1392°C , kdy se změní na plošně středěnou mřížku a ta poté při teplotě 910°C mění opět svoji mřížku na krychlovou, prostorově středěnou. V závislosti na chemickém složení mohou mít oceli při určité teplotě strukturu jednofázovou nebo dvofázovou, popřípadě i vícefázovou. Mohou ale taky obsahovat karbidy, intermetalické fáze, oxidické a sulfidické vměstky, nitridy apod.

U reálných kovů není nikdy krystalová mřížka dokonalá. Při krystalizaci a překrystalizaci kovu vzniká množství krystalových poruch, které se podle geometrického tvaru dělí na bodové, čárové, plošné a prostorové.

Mezi bodové vady patří vakance, což je neobsazení uzlového bodu mřížky. Dále intersticie, kdy je atom uložen v meziuzlové poloze a nakonec substituce, kdy je původní atom v mřížce nahrazen novým atomem. Tyto bodové vady lze vidět na obr. 20.

Čárové vady si lze představit částečným posunutím jedné části krystalu proti druhé části. Tyto čárové vady nazýváme dislokace a rozlišujeme je na hranové, šroubové a smíšené.

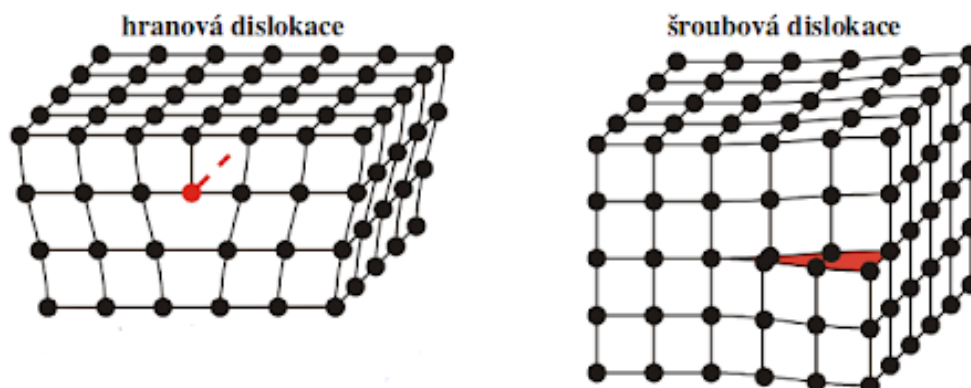
Hranová dislokace je stlačení části krystalu podél jedné krystalografické roviny o jednu meziatomární vzdálenost nebo vložení neúplné vrstvy do krystalu. Šroubová dislokace je specifická prostorovým posunutím části krystalu. Hranová i šroubová dislokace je zobrazena na obr. 21. V reálných krystalech nemají dislokace většinou přímkový tvar, ale jsou různě zakřiveny, tvoří dislokační smyčky, spirály atd. Takovéto dislokace jsou nazývány jako smíšené dislokace.



Obr. 20 Bodové vady v krystalové mřížce [14]

Dislokace mají zásadní význam pro plastickou deformaci, protože se plastická deformace převážně uskutečňuje jejich pohybem.

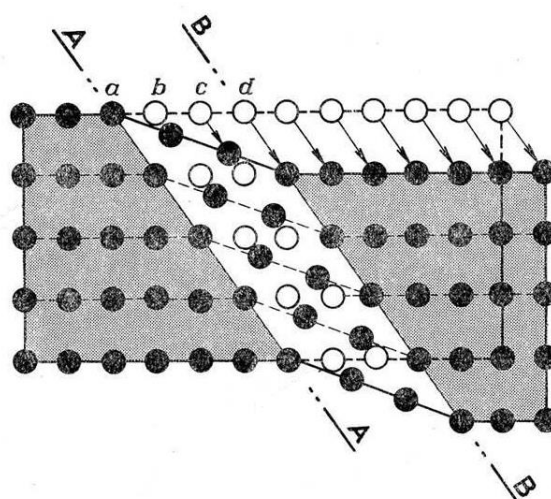
Mezi plošné vady patří pojem dvojčatění. Při dvojčatění se atomy v části krystalu přesunou o necelou meziatomovou vzdálenost, a to tak, že vznikne oblast mřížky souměrná podle roviny



Obr. 21 Čárové vady v krystalové mřížce [16]

dvojčatění s neposunutou mřížkou. Ukázka dvojčatění je na obr. 22.

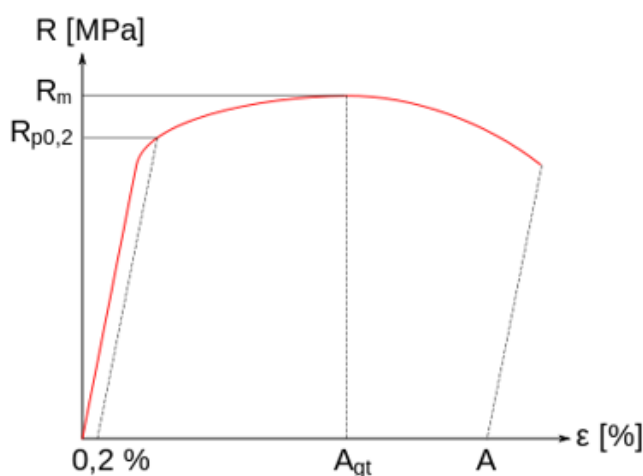
Jako nejvýznamnější plošná vada bývá uváděna hranice zrn. Hranice zrn oddělují oblasti s neporušenou periodickou krystalovou stavbou – krystalová zrna. Z důvodu, že je krystalová mřížka v každém zrně jinak orientována, je hranice zrn oblastí, v níž je eliminována velká disorientace krystalových rovin v sousedních zrnech. Na těchto hranicích zrn bývá velké množství mřížkových poruch, jako jsou vakance a dislokace, které zasahují do hloubky dvou až čtyř meziatomárních vzdáleností.



Obr. 22 Dvojčatění [17]

Mezi poruchy prostorové patří objekty krystalové struktury s periodickou mřížkou, která je často porušena chemickými vlivy, ale nedošlo ještě k vytvoření nové fáze a tím ani hranic zrn. Jako další prostorové vady mohou být takové vady, které už mají charakter porušení celistvosti materiálu, tím se myslí například dutiny či trhliny.

Jestliže na kov působí vnější síly, dochází k jeho deformaci. Prvně nastává deformace elastická neboli pružná, ta se ale ve druhé fázi, kdy dojde k překročení meze kluzu R_p , mění na deformaci plastickou. Tento jev lze dokumentovat na diagramu ze zkoušky tahem, který je na obr. 23.



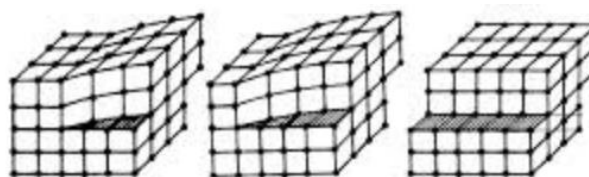
Obr. 23 Tahový diagram [19]

Nastávají pružná deformace, atomy se v uzlových polohách krystalové mřížky nepatrně vychýlí ze své rovnovážné polohy vlivem působícího napětí. Tento posun nepřesahuje asi 20% meziatomové vzdálenosti. Po následném odlehčení pružně deformovaného tělesa se atomy vrátí do původních poloh.

Překročí-li však napětí hodnotu meze kluzu, vzniká u kovových materiálů plastická neboli nevratná deformace, která po následném odlehčení zůstává zachována. Tato schopnost trvale se deformovat se využívá u tváření. Během plastické deformace dochází k trvalému posunu atomů, které zůstávají zachovány na stejném místě i po skončení působení vnějších sil. Trvalý posun atomů nastává až po překročení hodnoty kritického smykového napětí, a to pouze v některých krystalografických rovinách a směrech. Jedná se o roviny a směry, ve kterých je hodnota kritického smykového napětí největší a kde se pohyb atomů setkává s nejmenším množstvím překážek.

Mechanismus plastické deformace

Plastická deformace bývá uskutečněna pohybem dislokací v činných krystalografických rovinách a jejím základním mechanismem je transkrystalický skluz. Nevratná deformace neproběhne tedy přesunutím všech atomů v činné rovině, ale postupným pohybem dislokací. To je naznačeno na obr. 24. Jelikož struktura reálných kovů obsahuje velké množství mřížkových poruch, hlavně dislokací, tak je hodnota kritického smykového napětí většiny kovů nízká.



Obr. 24 Skluzová deformace kovového krystalu způsobená pohybem šroubové dislokace [14]

Skluz se nejčastěji vyskytuje v těch rovinách krystalové mřížky, kde je nejvíce atomů a ve směrech jejich nejtěsnějšího uspořádání. Tyto roviny jsou znázorněny na obr. 25.

Plastická deformace se ne vždy uskutečňuje skluzem, ale při určitých podmínkách je mechanismus deformace odlišný. O tom jaký bude uplatněn mechanismus, rozhoduje především teplota a rychlost procesu. V oblasti normálních teplot převažuje skluzová deformace. Při vyšších teplotách je plastická deformace usnadněná tím, že vzrůstá počet aktivních skluzových rovin a kromě skluzových systémů se uplatňuje i difúzní pohyb dislokací, tj. šplhání do sousedních skluzových rovin. Dostatečně vysoká teplota a nízká rychlosti deformace napomáhá vzniku dalšímu mechanismu plastické deformace, kterým se pokluz po hranicích zrn. Zde dochází k přemísťování jednotlivých atomů, nikoli celých skupin atomů. Tyto přemísťované atomy se neřídí krystalografickými rovinami a jejich směry. Atomy se pohybují v oblastech, kde je vysoká koncentrace mřížkových poruch, tedy na hranicích zrn a subzrn, takže se kov nedeformuje transkrystalicky, ale mezikystalicky.



Obr. 25 Nejčastější skluzové roviny [14]

Při vysokých teplotách nebo při vysoké rychlosti deformace probíhá plastická deformace často dvojčatěním. To se uskutečňuje průchodem soustavy neúplných dislokací deformovaným krystalem. Tak je vyvolán koordinovaný přesun většího počtu atomů o stejnou meziatomovou vzdálenost ve směru dvojčatění. Tímto mechanismem se nedosahuje velkých deformací, spíše se převádějí nepříznivě orientované kluzové systémy do příznivější polohy pro transkrystalický skluz. Deformace dvojčatěním také vyžaduje daleko vyšší hodnoty kritického smykového napětí, než deformace skluzem.

Deformační zpevnění, zotavení a rekrytalizace

Pohyb dislokací, jehož výsledkem je plastická deformace, stěžují překážky, které jsou v reálných krystalech. Výsledkem jsou horší podmínky pro fungování dislokačních mechanismů. Aby fungoval pohyb dislokací, je nutné neustálé zvyšování smykového napětí, tím dochází k deformačnímu zpevnění tvářeného materiálu. Vzájemné působení dislokací a překážek vede k nárůstu poruch krystalové stavby. Dochází k růstu bodových, ale hlavně čárových poruch krystalové stavby, hustota dislokací se zvyšuje až tisícinásobně. Překážky pro pohyb dislokací mohou být:

- Jiné dislokace, které nepatří s ohledem na jinou orientaci do aktivního skluzového systému
- Hranice zrn nepropustné pro pohyb dislokací, z čehož vyplývá, že plastická deformace je obtížnější u jemnozrnného materiálu
- Další nestandardnosti krystalové mřížky jako třeba cizí atomy kolem nichž je vytvořené lokální napětíové pole apod.

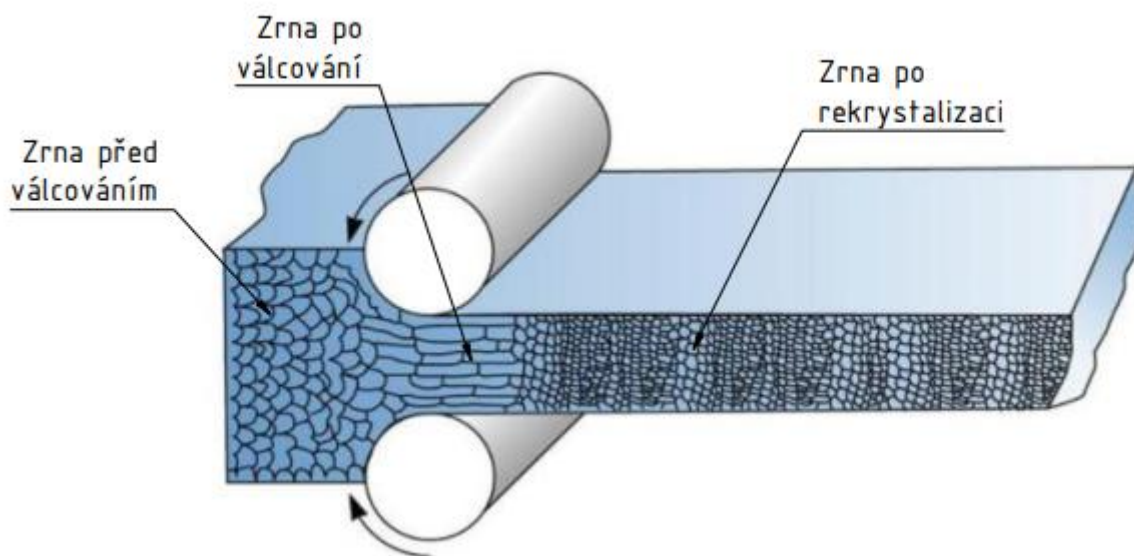
V reálném polykrystalickém materiálu je množství náhodně orientovaných zrn. Když je takový materiál zatěžován, v některých zrnech bývá dosaženo hodnoty kritického skluzového napětí už při nižších zatížení. Zatímco nepříznivě orientovaná zrna jsou deformována pružně a materiál je v pružně-plastickém stavu jako celek.

Deformační zpevnění má za následek zvýšení meze pevnosti, meze kluzu i tvrdosti. Naopak klesají tvárné charakteristiky materiálů jako jsou houževnatost, kontrakce a tažnost, které klesá až téměř na nulu. Plasticky deformovaný materiál je obohacen o uloženou deformační energii, díky tomu je termodynamicky nestabilní. Návratem do původního stavu se sníží množství poruch v deformovaném materiálu, uvolní se uložená energie a obnoví se původní vlastnosti. Tyto procesy se musí tepelně aktivovat a souhrnně jsou označovány jako odpevňovací procesy.

Odpevnění může být částečné nebo úplné odstranění příčin zpevnění a je závislé na teplotě a čase. Může být prováděno současně se zpevněním s určitým zpožděním nebo zároveň při ohřevu deformačně zpevněného materiálu. V závislosti na teplotě, při které probíhá deformace materiálu, rozdělujeme tváření za studena ($T_{TV} < 0,3 T_{TAVENÍ}$) a tváření za tepla ($T_{TV} > 0,3 T_{TAVENÍ}$). Během tváření za studena je materiál deformačně zpevňován a pro dosažení velkých přetvoření je třeba často obnovit původní vlastnosti kovu a to jeho následným odpevněním.

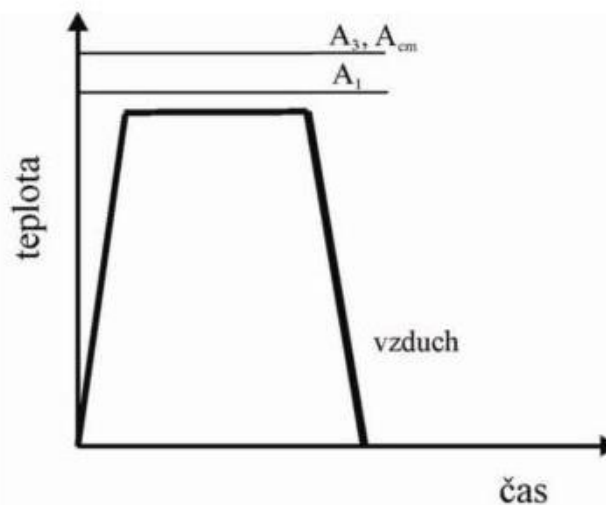
Procesy odpevňování plasticky deformovaného kovu jsou aktivované zvýšenou teplotou. Při ohřevu na teplotu $T \approx 0,3 T_{TAVENÍ}$ nastává první etapa těchto dějů, kterou je regenerace neboli zotavení. Zotavení je důsledkem změn v rozložení poruch krystalické stavby deformovaného materiálu. Dochází ke snížení bodových poruch, dislokace se přeskupují do nových konfigurací a plno dislokací při tomto ději zaniká. Díky regeneraci se výrazně sníží vnitřní napětí v deformovaném kovu.

Když se teplota zvýší na $T = (0,35 \text{ až } 0,4) T_{TAVENÍ}$, nastane druhá fáze odpevňování a tou je rekrytalizace. Ta probíhá nukleací zárodků nových zrn na styku deformovaných zrn a jejich růstem. Tvar zrn se mění a tím dochází ke změně mechanických vlastností a to hlavně poklesem pevnosti a nárůstem tvárnosti a houževnatosti. Rekrytalizace zrn je vidět na obr. 26.



Obr. 26 Rekrytalizace zrn [20]

Velikost rekrytalizovaných zrn je závislá na předchozí deformaci a na podmínkách ohřevu deformovaného materiálu. Na obr. 27 je závislost teploty na čase při rekrytalizačním žihání. S tím jak roste plastická deformace, tak dochází k aktivaci většího počtu skluzových systémů a tím vzniká více vhodných míst pro následnou nukleaci zárodků nových zrn. Z toho vychází, že s rostoucí deformací se bude velikosti rekrytalizovaných zrn zmenšovat. Naopak u malých deformací bude rekrytalizovaná struktura hrubozrnná. Největší kritické zhrubnutí je výsledkem kritického stupně deformace, které bývá 4 až 12%. Jeli rekrytalizace ukončena a zvýší se teplota při ohřevu materiálu, dojde také ke zhrubnutí zrna.



Obr. 27 Závislost teplota – čas při rekrytalizačním žihání [20]

Pokud bude deformovaný materiál udržen na teplotě rekrytalizace i po ukončení rekrytalizačního děje, nastane tzv. sekundární rekrytalizace. Ta je zapříčiněna zmenšováním volné energie na hranicích zrn, hranice se napřimují, malá zrna se zmenšují a velká naopak rostou. Toto má za následek zhrubnutí zrna, a to se nepříznivě projeví na mechanickým vlastnostech materiálu. Intenzivní zhrubnutí zrna nastává hlavně při vyšších stupních deformace a vyšších rekrytalizačních teplotách.

Deformační schopnost kovů

Deformační schopnosti kovů umožňují jejich plastickou deformaci do vzniku mezních podmínek, které způsobují porušení soudržnosti. Plastická deformace kovů je závislá na metalurgických vlastnostech kovu, ale současně taky na vnějších podmínkách tváření. Deformační schopnost kovového materiálu se nazývá tvařitelnost.

Tvařitelnost je vlastně schopnost deformovat materiál k trvalé deformaci bez porušení soudržnosti. Tvařitelnosti je závislá na několika faktorech, jsou to:

- Materiáloví činitelé
- Termomechanické podmínky deformace
- Napěťový stav
- Technologické podmínky zpracování

Materiáloví činitelé

Ohledně materiálu na tvařitelnost kovu má chemické složení, strukturní stav a tepelně aktivované děje.

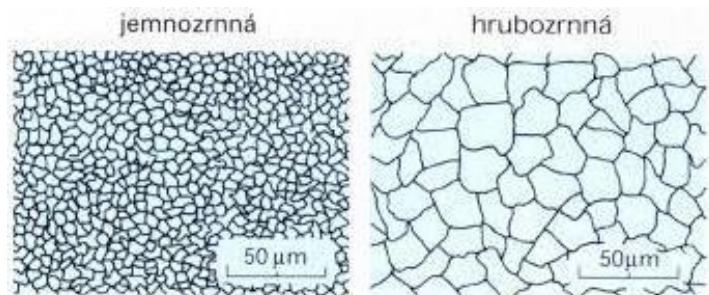
Co se týká chemického složení, tak všechny nečistoty, plyny, vměstky, ale i základní a legující prvky v kovu mají vliv na tvařitelnost. Nejvyšší tvařitelnost mají čisté kovy. Přísadové prvky zvyšují pevnost krystalické mřížky, tím pádem se poté oceli s vyšším počtem legujících prvků tváří výhradně za tepla.

Obsah uhlíku má velký vliv na tvařitelnosti dané oceli. Čím více uhlíku v oceli je, tím více se zvyšuje podíl perlitu v perliticko-feritické struktuře a tvařitelnosti oceli se potom snižuje. Dále má velký vliv i morfologie perlitu, globulární perlit je pro tváření daleko výhodnější než lamelární. Jako základní technologie tepelného zpracování feriticko-perlitických ocelí před objemovým tvářením je proto žíhání na měkko.

Jako legující prvek oceli může být použit třeba mangan, který ostraňuje křehkost za tepla, zároveň manganové oceli mají nižší náchylnost k přehřátí a nižší tepelnou vodivost. Častými legujícími prvky mohou být například křemík, molybden, nikl nebo chrom, který způsobuje, že ocel hlavně za nižších teplot má vysokou pevnost a velkou náchylnost k tvorbě trhlin. Fosfor například podporuje křehkost za studena a také snižuje tvařitelnost za tepla.

Tvařitelnost bývá ovlivňována makro i mikrostrukturou, orientací a velikostí zrn, charakterem základních strukturních složek atd.

Při tváření za studena a za tepla je vliv velikosti zrna odlišný. Při tváření za studena, kde je mechanismem plastické deformace skluz, kterému v pohybu brání hranice zrn, má vyšší tvařitelnost struktura hrubozrnná. Naopak u tváření za tepla je někdy tvařitelnost vyšší při jemnozrnné struktuře. Rozdíl mezi jemnozrnnou a hrubozrnnou strukturou je na obr. 28.



Obr. 28 Jemnozrnná x hrubozrnná struktura [21]

Tepelně aktivované děje, které jsou závislé na difúzních schopnostech, mají rozhodující vliv na deformační schopnost kovu. Jedná se o všechny děje, které jsou spojeny s procesem deformace, jako zpěvňovací a uzdravovací procesy, růst zrna nebo dynamická precipitace.

Mezi uzdravovací procesy patří zotavení a rekrytalizace. Během tváření za vysokých teplot, kdy je teplota tváření mnohdy vyšší, než teplota rekrytalizace, probíhají uzdravovací procesy zároveň se zpevňováním, jako dynamické zotavování a rekrytalizace.

Dynamické zotavení je převládající mechanismus odpevňovacích procesů u kovů nebo slitin s vysokou energií vrstvených chyb, jako třeba u kovů s kubickou těsně středěnou nebo hexagonální mřížkou. Dynamické zotavení při tváření za tepla podporuje:

- Vysoká energie vrstvených chyb
- Vyšší teploty tváření
- Vyšší deformační napětí
- Vyšší obsah vakancí

Rekrystalizace je proces, při kterém probíhá nukleace a růst novým zrn. Dynamicky rekrystalizovaná zrna rostou však jen do určité velikosti, která odpovídají podmínkám deformace. Tím se liší od statické rekrystalizace, kde zrna rostou do doby, než dojde k vzájemnému styku. Dynamická rekrystalizace je hlavní mechanismus pro odpevnění při tváření kovů, které mají nízkou energii vrstvených chyb, jako např. γFe , Cu nebo Ni. Předpoklady pro průběh dynamické rekrystalizace jsou:

- Nízká energie vrstvených chyb
- Velikost deformace větší než určitá kritická hodnota
- Vysoká teplota

Termomechanické podmínky deformace

Mezi termomechanické podmínky deformace se řadí teplota deformace, velikost deformace a rychlost deformace.

Tvařitelnost kovů se obecně zvyšuje s teplotou až do určité mezní hodnoty. Snížení tvařitelnosti nad touto teplotou ovlivňuje citlivost kovů k přehřátí a spálení, případně i k strukturní nestabilitě. Se zvyšující se teplotou roste kinetika odpevnovacích procesů, zvyšuje se rozpustnost příměsí, hlavně na hranicích zrn, a urychluje se pohyb dislokací. Zároveň rostou zrna, je narušena strukturní stabilita a mění se rozpustnost intersticiálních prvků, které mají za následek křehkostní pásma za tepla.

Vliv velikosti deformace je výrazný hlavně při deformaci materiálu pod jeho rekrystalizační teplotou, kde se stupeň deformačního zpevnění zvyšuje s rostoucí velikostí deformace. Ovšem ani nad teplotou rekrystalizace nestačí probíhající dynamické zotavení a dynamická rekrystalizace zcela odstranit zpěvnování. S rostoucí velikostí deformace zde tvařitelnost klesá a deformační odpor roste.

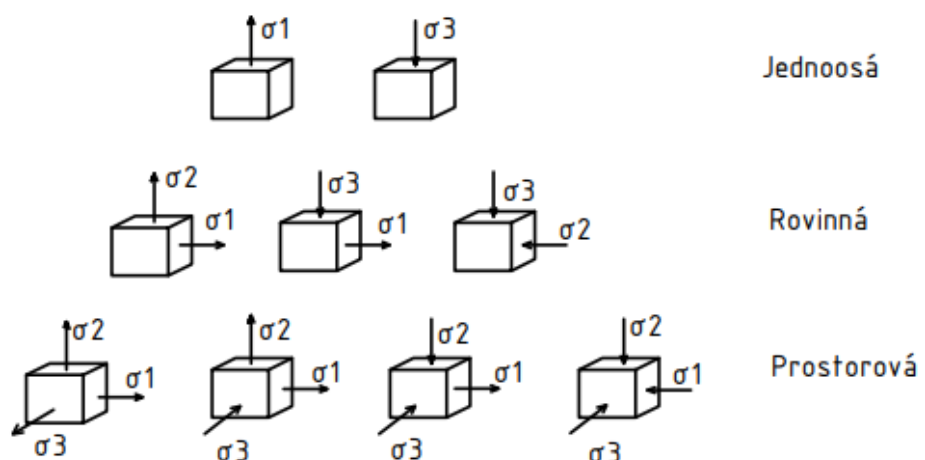
Rychlost deformace můžeme zvyšovat i snižovat tvařitelnost a hodnoty deformačních odporů. Během tváření za studena má změna rychlosti deformace na tvařitelnost jen malý vliv, u tváření za tepla se může jednat o závislost značnou.

Pro charakter vlivu tvařitelnosti na rychlost deformace je rozhodující vztah mezi rychlostí deformace $\dot{\epsilon}$ a rychlostí v_r , kterou probíhají odpevnovací procesy, je-li:

- $\dot{\epsilon} > v_r$, převládá zpevnování, deformační odpor s rychlostí deformace vzrůstá, tvařitelnost klesá
- $\dot{\epsilon} < v_r$, převládá dynamické odpevnování, hustota dislokací klesá, materiál se nezpevnuje, deformační odpor klesá, tvařitelnost roste

Napětový stav

Napjatost v tvářeném tělese lze vyjádřit pomocí schémat hlavních normálových napětí, které jsou na obr. 29. Tvařitelnost vzrůstá s počtem tlakových napětí a klesá s počtem takových napětí. K porušení tvářeného materiálu dochází v místech, kde taková napětí



Obr. 29 Schémata hlavních napětí [14]

převýší kohézní pevnost materiálu. Tvařitelnost materiálu se zvýší, jestliže budou všechny složky napětí tlakové a naopak. Reálné tvářecí technologie však leží mezi těmito extrémy.

Technologické podmínky deformace

Tvařitelnost materiálu je také ovlivněna i celou řadou faktorů, které souvisejí s vlastním technologickým pochodem tváření. Jsou to zejména:

- Vnější tření na stykové ploše
- Nerovnoměrnost deformace
- Geometrie tvářecího procesu
- Historie zpracování – tepelně časový a deformační průběh
- Způsob deformace – spojitý nebo přerušovaný

Z těchto technologických podmínek má na deformační schopnost kovů největší vliv tření na kontaktních plochách jak nástroje, tak i deformovaného tělesa.

Celkově můžou působit tři druhy tření:

- Suché tření – nastává přímý dotyk nástroje s deformovaným tělesem
- Tření s uplatněním viskózně plastického účinku maziva – mazivo tvoří souvislý povlak na pracovních plochách nástrojů
- Tření s uplatněním hydromechanického účinku maziva – je to v podstatě kapalinové tření.

Při použití suchého tření během tvářecích operací je součinitel tření poměrně vysokých hodnot, a to $\mu = 0,4$ až $0,55$. Při ustálených podmínkách deformace za pohybu se hodnoty součinitele tření podstatně snižují.

Kapalné tření je umožněno tím, že je na povrchu dotykových ploch dostatečná viskozita a přilnavost maziva. Tekutá maziva vytvářejí na kovovém povrchu velmi tenkou vrstvičku, přičemž molekulární síly, které působí mezi mazivem a povrchem kovu jsou tak velké, že mazivo není v průběhu deformace nijak odtrženo. Odpor prot vzájemnému pohybu kontaktních ploch je v tomto případě nepatrný a je dán vnitřním odporem viskózní kapaliny.

Většinou se ale při tvářecích procesech vyskytuje polosuché tření. Vzhledem k tomu, že kontaktní plochy nejsou dokonale hladké a velké deformační tlaky mohou způsobovat porušení souvislosti vrstvy maziva, velikost součinitele tření ovlivňuje:

- Stupeň drsnosti dotykových ploch
- Tvářený kov – kvalita povrchu, oxidace při tváření za tepla, chemické složení
- Podmínky deformace – měrný tlak na stykových plochách, rychlost jejich vzájemného pohybu, teplota
- Použití maziva

Posuzování tvařitelnosti

Tvařitelnost kovu se dá určit pomocí základních mechanických zkoušek nebo zkouškami technologickými. Výsledky těchto zkoušek slouží k technologickým i studijním účelům.

Technologické účely:

- Stanovení dovoleného stupně deformace
- Stanovení optimální teploty tváření
- Stanovení vlivu metalurgických, termomechanických a technologických podmínek na tvařitelnost
- Stanovené přetvárných odporů

Studijní účely:

- Mechanismus a kinetika zpevňování
- Mechanismus a kinetika uzdravovacích procesů

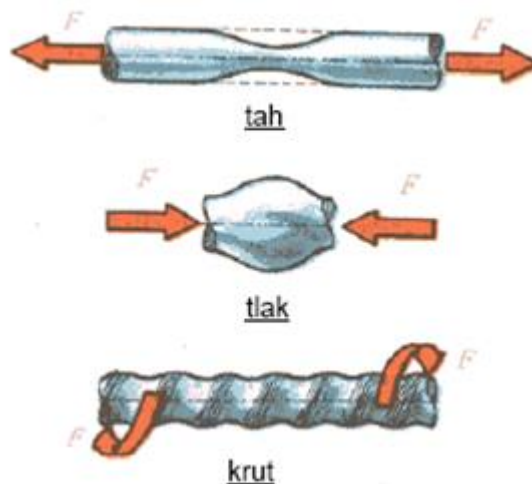
- Vliv deformace na tepelně aktivované děje
- Simulace tvářecích procesů

Pro studium těchto dějů se používají základní univerzální zkušební stroje a tzv. plastometry, které slouží pro výzkum plastické deformace kovů v určitých podmínkách, jako třeba teplota, rychlost nebo tvar.

Univerzální stroje jsou užívány pro základní zkoušky jako třeba taková nebo tlaková zkouška. Vačkové plastometry se používají pro určování deformačních odporů při konstantní deformační rychlosti. Torsní plastometry fungují na principu zkoušky krutem a tvařitelnost je pak zjišťována z počtu zkrutů zkušební tyče až do porušení.

Mezi mechanické zkoušky tvařitelnosti patří tři základní zkoušky, je to tahová zkouška, tlaková zkouška a krutová zkouška. Výsledky těchto zkoušek se většinou zapisují ve formě diagramu, z kterého se zjišťuje, jak je daný materiál tvařitelný. Tyto zkoušky jsou znázorněny na obr. 30.

U technologických zkoušek se zjišťují ukazatele tvařitelnosti, kterých je poté využito k vzájemnému porovnávání tvařitelnosti v určitých tvářecích technologiích. Porovnávat lze určité materiály, popřípadě vliv podmínek na tvařitelnost pro určitou technologii tváření. U objemového tváření to mohou být například zkoušky válcování, rozkování, rozhánění nebo rozštěpení. Mezi plošné zkoušky patří třeba hloubení, rozšiřování otvoru, kalíškování nebo ohyb.

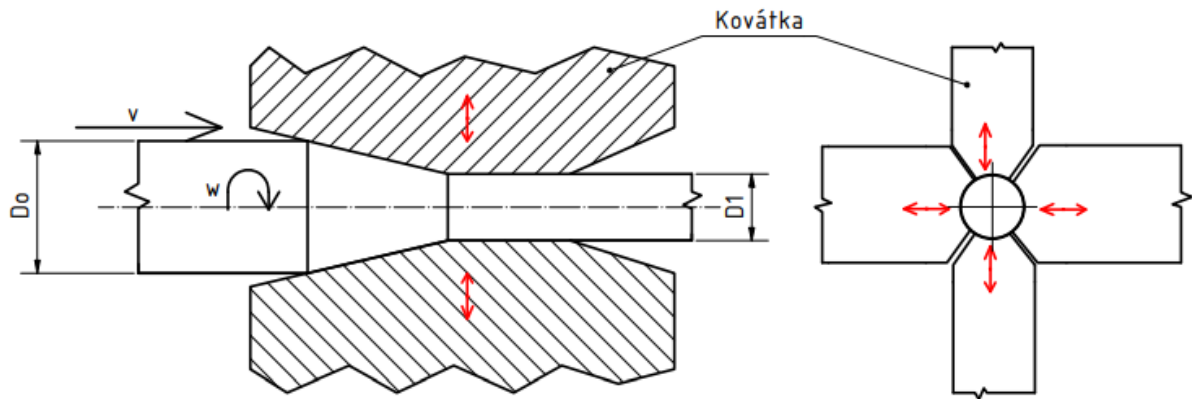


Obr. 30 Mechanické zkoušky tvařitelnosti [22]

2.2.2. Rotační kování [7], [12], [13]

Rotační kování je jeden z druhů kování. Díky tomuto způsobu se zhotovují osazené rotační výkovky s dlouhou hlavní osou, které jsou buď plné, nebo duté. Princip metody spočívá v redukovaní průřezu polotovaru kovátky, která působí na materiál v kolmé směru na osu materiálu. Tím dochází k zmenšování průměru dané tyče a zároveň zvětšování její délky. Rotační kování se u menších kovaných průřezů uskutečňuje za studena, větší průřezů se kovají za kovací teploty. Velkou výhodou rotačního kování je dosahovaná přesnost. Při kování za studena je vnější plocha zhotovena až v přesnosti IT 11, vnitřní průměr v přesnostech IT 8 až

IT 6. Kováním za tepla se dosahuje na vnější ploše přesnosti IT 12 a na vnitřní ploše IT 9. Ukázka rotačního kování je na obr. 31.



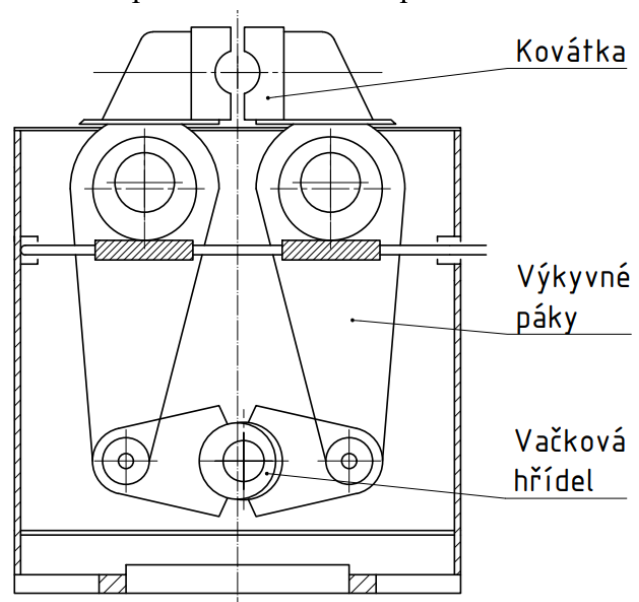
Obr. 31 Rotační kování [13]

Může být použit různý počet kovátek, přičemž jejich pohyb je synchronizovaný.

Při rotačním kování probíhá vždy několik činností současně. Tyto činnosti jsou naprogramovány a dále řízeny strojem pro rotační kování. Jsou to:

- Kmitavý pohyb pracovních kovátek
- Posuv tvářeného materiálu mezi kovátko
- Rotační pohyb tvářeného materiálu
- Synchronizované rozevírání/svírání kovátek při změně kovaného průměru

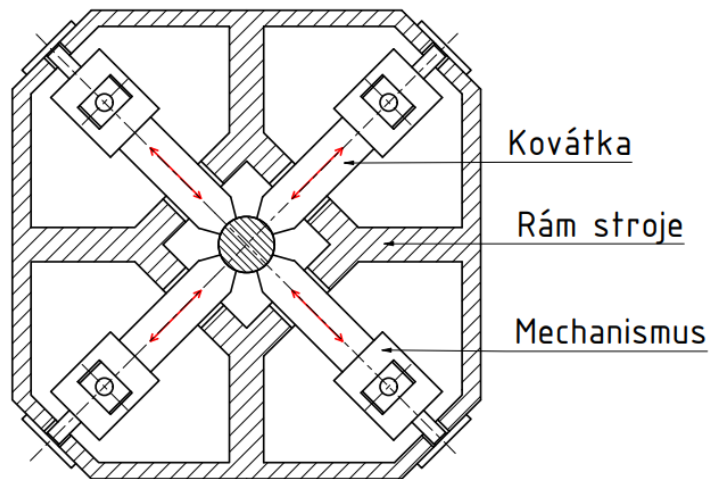
Existuje několik typů strojů pracujících na principu rotačního kování. Nejrozšířenější jsou dva a to typ WACKER a GFM. Rozdíl je v jejich principu mechanismu, který přenáší kmitavý pohyb na kovátko. U konstrukce typu WACKER je kmitavý pohyb zajištěn rotujícím vačkovým hřídelem, se kterým jsou spojeny výkyvné páky. Oddalováním nebo přibližováním otočných bodů je poté možno měnit kovaný rozměr. U této metody se používají dvě kovátko, viz obr. 32. U druhé konstrukce s názvem GFM má každé kovátko svůj klikový mechanismus, který jej udává kmitavý pohyb. Tyto mechanismy jsou zabudovány v rámu stroje. Zde se používají nejčastěji čtyři kovátko, jsou i případy, kdy je použito kovátek šest. Konstrukce typu GFM je na obr. 33.



Obr. 32 Konstrukce stroje WACKER [12]

Rotační kování patří k základním technologiím při výrobě hlavní. Větší hlavně se kovou za tepla, naopak menší hlavně jsou kovány za studena.

Princip je zde v podstatě stejný jako u rotačního kování samotné tyče. Rozdíl je tady takový, že jako polotovar je uvedena trubka, která je nasunuta na trn. Dochází tu opět ke zmenšování průměru, tentokrát ale průměru trubky a zároveň její tloušťky stěny. Dále se také zvětšuje délka trubky.



Obr. 33 Konstrukce typu GFM [12]

Tečení při rotačním kování u daného materiálu je poměrně složité. Kovátka působí na tvářený materiál ve směru radiálním, ale materiál teče v radiálním i osovém směru. Tečení kovu přitom ve směru osy není po průřezu rovnoměrné. Největší intenzitu tečení má materiál na povrchu polotovaru, kde působí kovátka. Směrem k ose se intenzita tečení snižuje. Tečení materiálu při rotačním kování je ukázáno na obr. 34. Příčné průřezy polotovaru tak nezůstávají konstantní, a když dojde k překročení kritické velikosti deformace, dochází pak ke vzniku trhlin v materiálu. Změny výchozího polotovaru lze vyjádřit např. poměrnou deformací, pak velikost deformace průměru (2.1), tloušťky stěny (2.2) a délky polotovaru (2.3).

$$\varepsilon_D = \frac{D_0 - D_1}{D_0} \quad (2.1)$$

Kde: ε_D = poměrná deformace průměru [-]

D_0 = průměr před kovááním [mm]

D_1 = průměr po kováání [mm]

$$\varepsilon_s = \frac{s_0 - s_1}{s_0} \quad (2.2)$$

Kde: ε_s = poměrná deformace tloušťky stěny [-]

s_0 = tloušťka stěny před kovááním [mm]

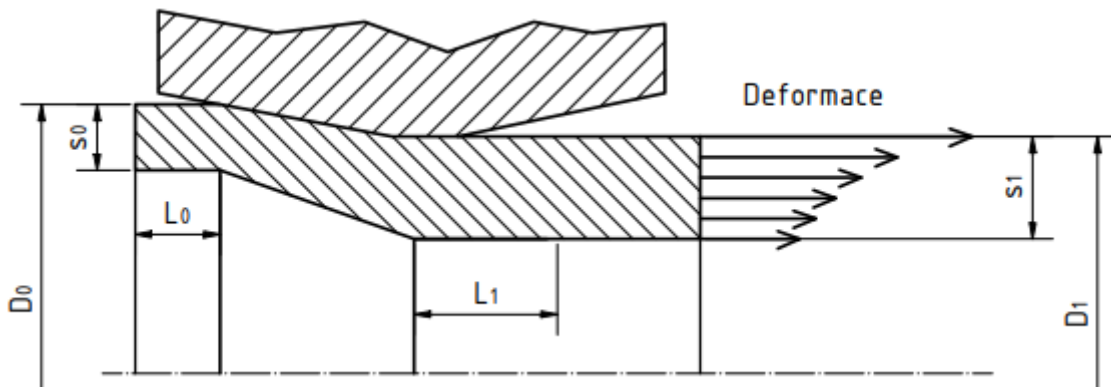
s_1 = tloušťka stěny po kováání [mm]

$$\varepsilon_l = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \quad (2.3)$$

Kde: ε_l = poměrná deformace délky [-]

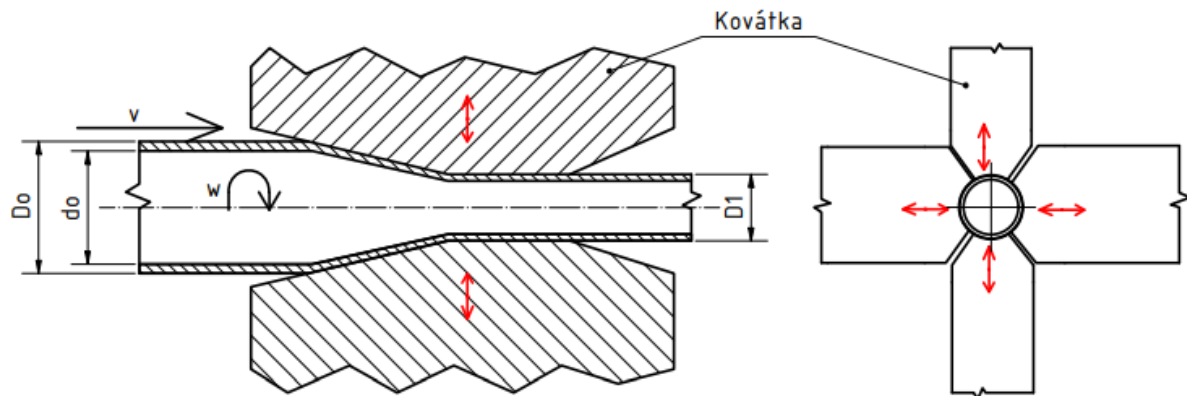
l_0 = délka před kovááním [mm]

l_1 = délka po kováání [mm]



Obr. 34 Tečení materiálu při rotačním kování [12]

Jak již bylo psáno, tak hlavně menších rozměrů jsou kovány za studena. Trubkový polotovár má leštěný vývrt a vnější povrch je částečně kuželový s vytvořeným náběhem pro kovátko. Vnitřní plochy hlavně se vykovou na hotovo, včetně drážek pro vedení střely. Dále se vykove tvar nábojové komory. Rotační kování hlavní je ukázáno na obr. 35.



Obr. 35 Rotační kování hlavní [13]

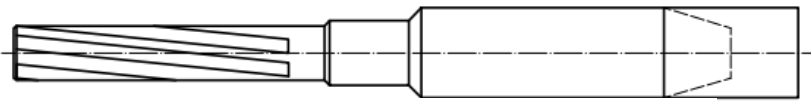
Postup rotačního kování hlavní na stroji GFM začíná tím, že polotovár je upnut do sklíčidla. Tyč může být upnuta do jednoho nebo dvou sklíčidel, záleží na provedení stroje. Dvě sklíčidla jsou používána, když je součást kována za tepla po celé její délce. Vyráběná součást je během procesu posunuta z prvního sklíčidla do druhého pomocí sklíčidlového podavače, který bývá zpravidla hydraulický. Obecně jsou dvě možné varianty řízení stroje. Manuální řízení, kde se všechny procesy řídí pomocí tlačítek, páček nebo kontrolních panelů, nebo plně automatické řízení stroje, kde je do stroje nahrán program a tímto programem se už stroj řídí sám. Do polotovaru je zasunut trn ze slinutého karbidu. Foto kovacího stroje GFM je na obr. 36.



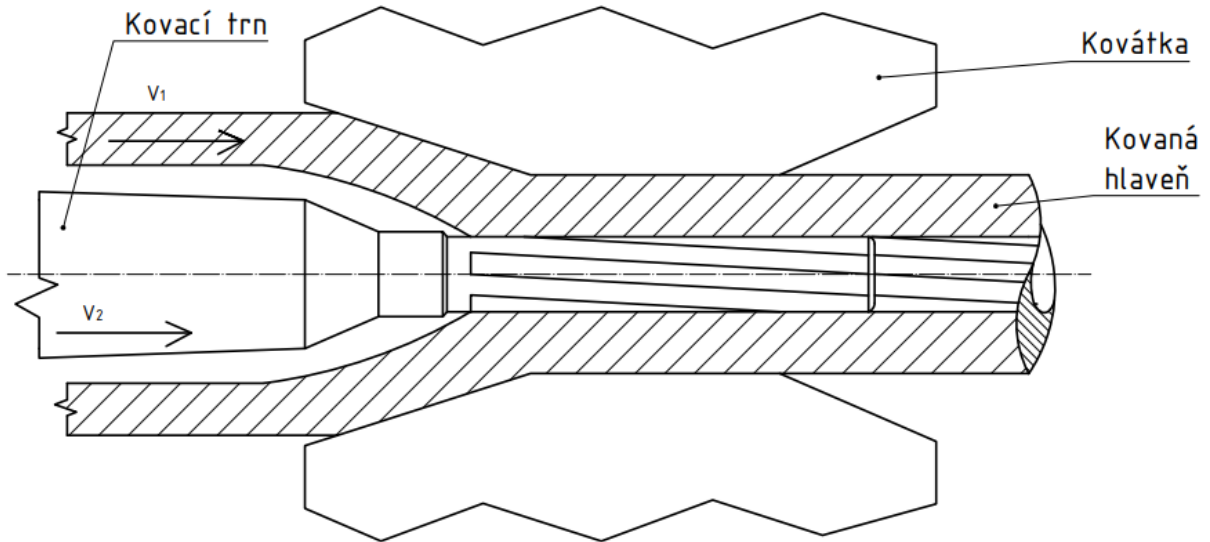
Obr. 36 Kovací stroj GFM [19]

Samotný trn je složen se dvou částí, část pro kování nábojové komory a část pro kování vývrtu s drážkami. Kovací trn je na obr. 37. Trn je mírně kuželový, kde rozdíl mezi průměrem trnu u jeho okraje a u části pro kování nábojové komory činí 0,02 mm. Kování hlavně začíná od jejího ústí, na začátku trnu s menším průměrem. Zkosený okraj polotovaru s vloženou přední

částí trnu je zasunut do prostoru mezi kovátko, která synchronizovaným pohybem s 1000 až 1500 údery za minutu postupně vykovávají drážkovou část hlavně. V této části procesu se tvářený polotovár rychlostí v_1 posunuje do záběru kovátek, souhlasně s ním se posunuje i trn rychlostí v_2 . Vývrt u nábojové komory se pak vykovává na větším průměru drážkované části trnu. Tento proces kování hlavně je vidět na obr. 38.

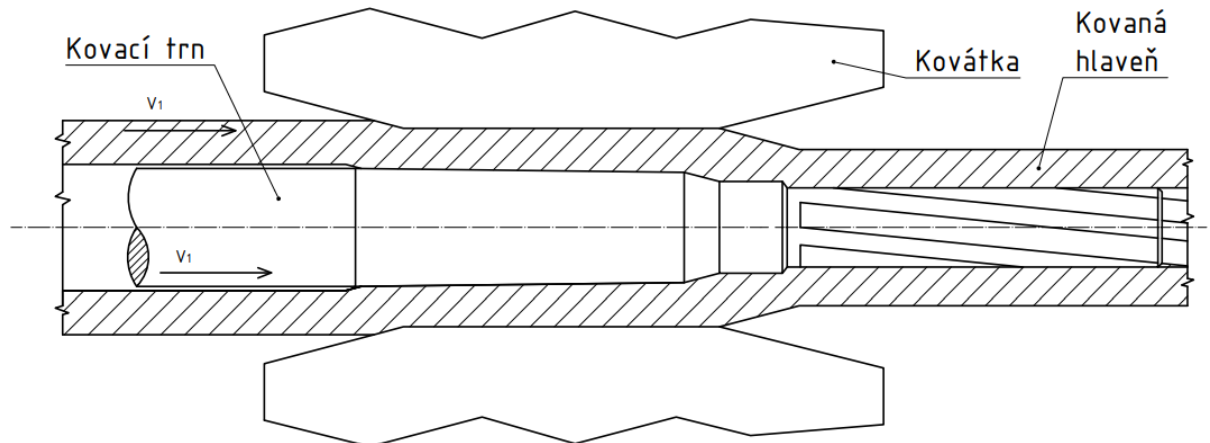


Obr. 37 Kovací trn [7]



Obr. 38 Kování drážkové části [12]

Po vykování drážkové části hlavně je na řadě kování nábojové komory. Kovátka se musí rozevřít na větší průměr, který odpovídá vnějšímu průměru v této části hlavně. Mezi kovací zařízení je vsunuta válcová část trnu, která je určena pro kování nábojové komory a celá délka hlavně je poté dokována. Kování nábojové komory je zobrazeno na obr. 39.

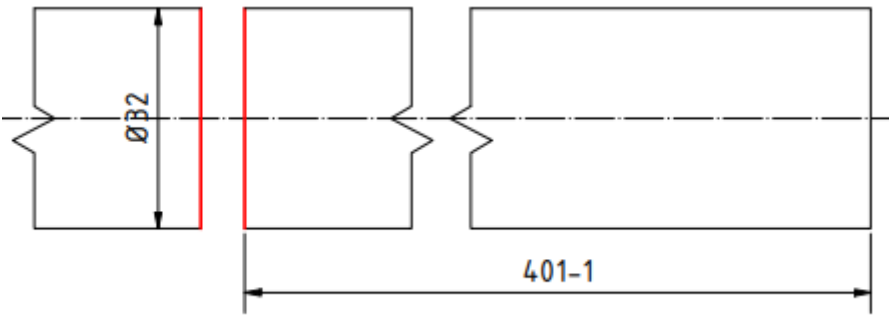
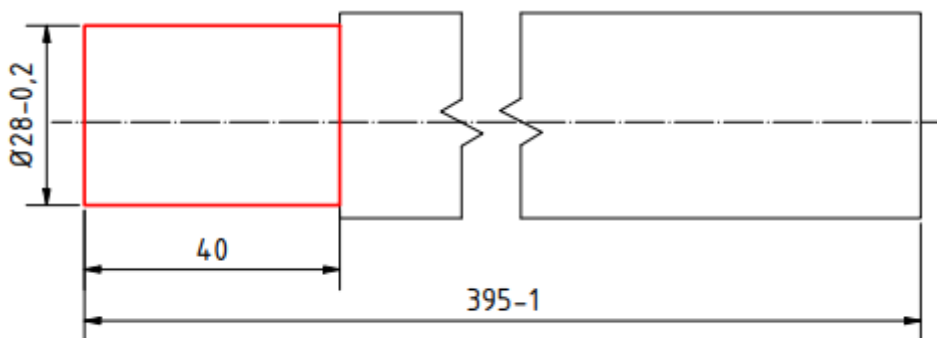


Obr. 39 Kování nábojové komory [12]

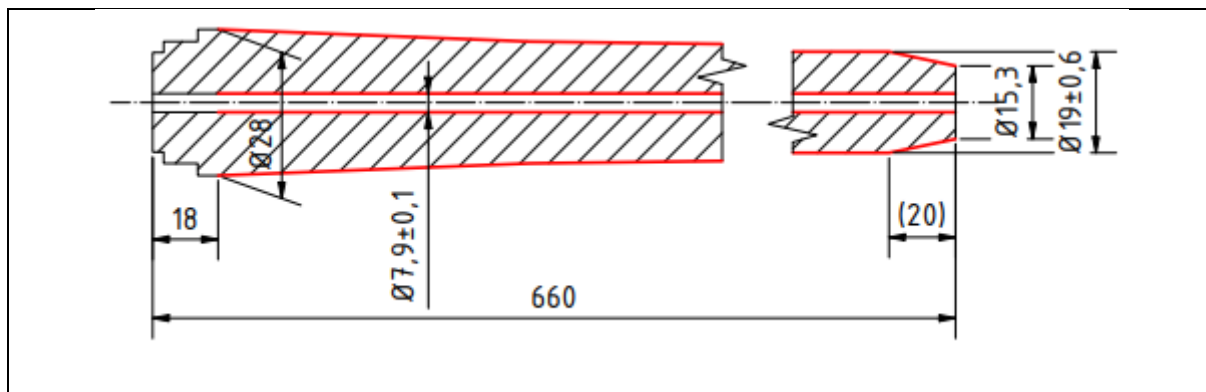
3. TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY MALORÁŽOVÉ HLAVNĚ

V technologickém postupu součásti je obvykle popsáno, jak bude součást postupně vyráběna. Nejčastěji písemnou ale mnohdy doplněnou i grafickou formou jsou zde popsány všechny dílčí operace součásti tak, jak jdou při výrobě po sobě. Technologický postup je popsán pro hlavěň, která je zobrazena v příloze 1. Popis jednotlivých operací je v tab. 1.

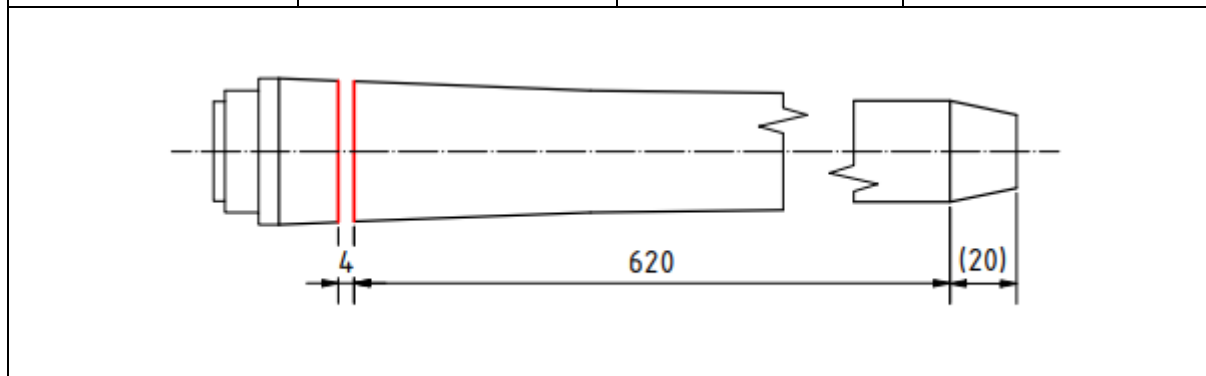
Tab. 1 Technologický postup výroby malorážové hlavěně

ČÍSLO OPERACE	NÁZEV OPERACE	POPIS OPERACE	STROJ
1	ŘEZAT	Narezáání přířezů z polotovaru na požadovanou délku	PILA NA KOV PÁSOVÁ
			
2	SOUSTRUŽIT	Uložení přířezů materiálu na hlavěň	ZAROVNÁVAČKA KONCŮ
			
3	KONTROLOVAT TVRDOST	Kontrolování tvrdosti materiálu	TVRDOMĚR
4	VRTAT	Vrtání průchozí díry pomocí hlavňového vrtáku	STOLICE VRTACÍ

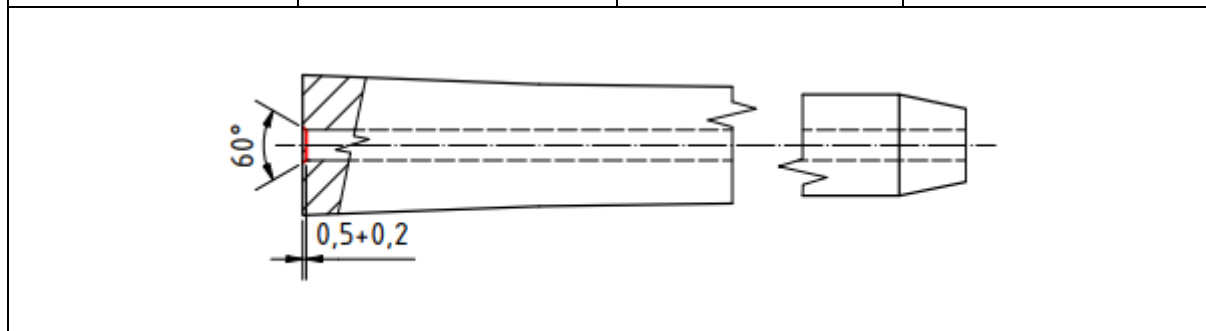
5	ZAHLOUBIT	Zahloubení děr	VRTAČKA SLOUPOVÁ
6	SOUSTRUŽIT	Soustružení vnějšího kuželového tvaru a náběhu pro kování a upínací části pro kovací stroj	POLOAUTOMAT. SOUSTRUH
7	HONOVAT	Honování vývrtu	HONOVACÍ STROJ
8	KOVAT	Kování drážek, vývrt je před kováním vyčištěn a namazán	KOVACÍ STROJ



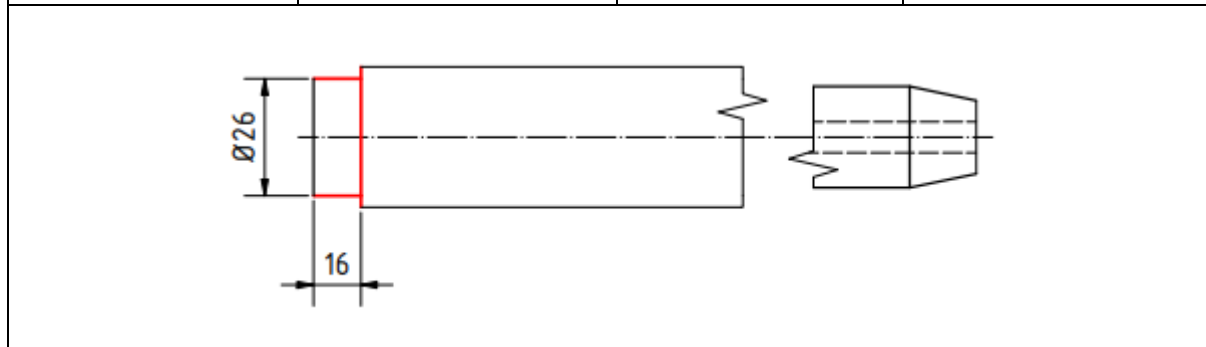
9	ROVNAT DLE STÍNU	Rovnění podle stínu, po kování může být hlaveň zohýbaná	ROVNACÍ STOJAN
10	UPICHNOUT, ZAROVNAT	Upíchnutí neprokované části	SOUSTRUH HROTOVÝ

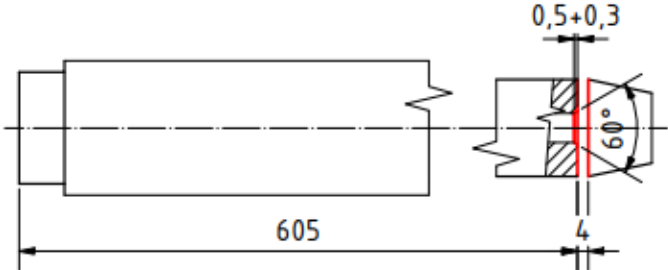
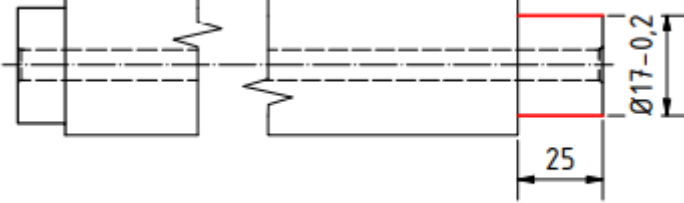
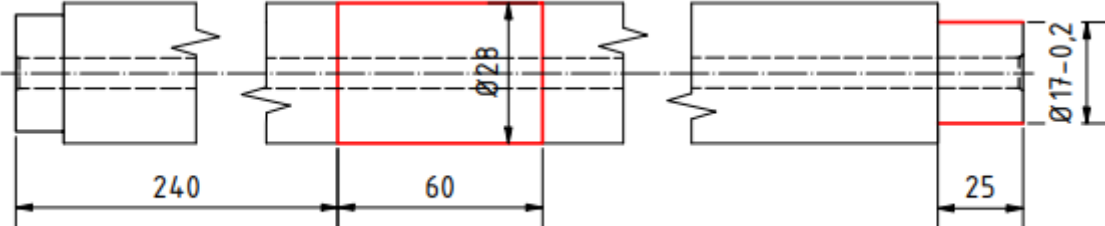


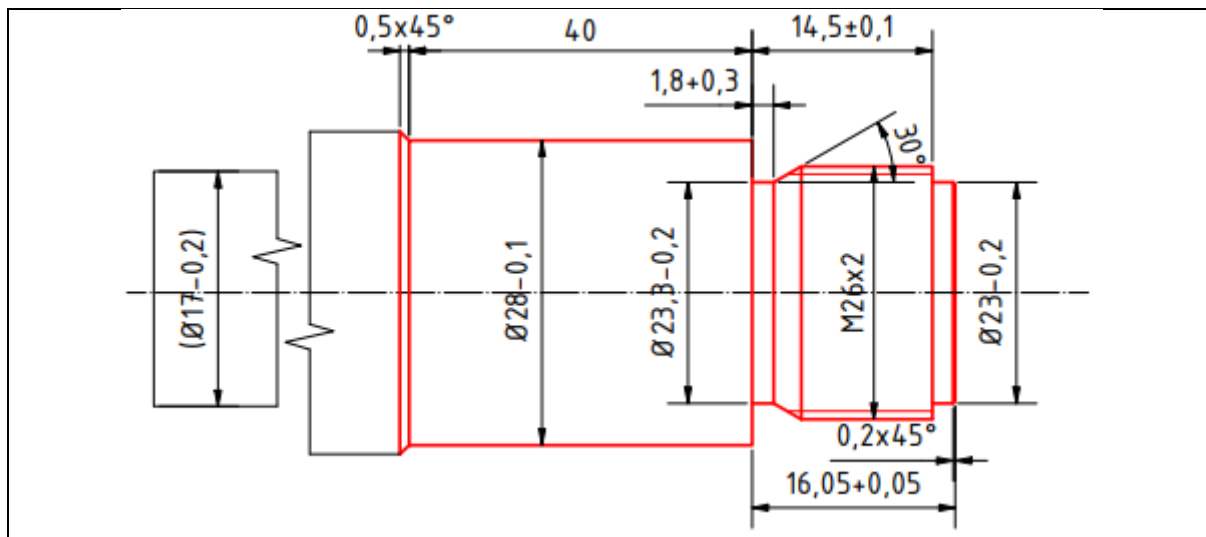
11	ZAHLOUBIT	Zahloubení průchozí díry	VRTAČKA SLOUPOVÁ
----	-----------	--------------------------	------------------



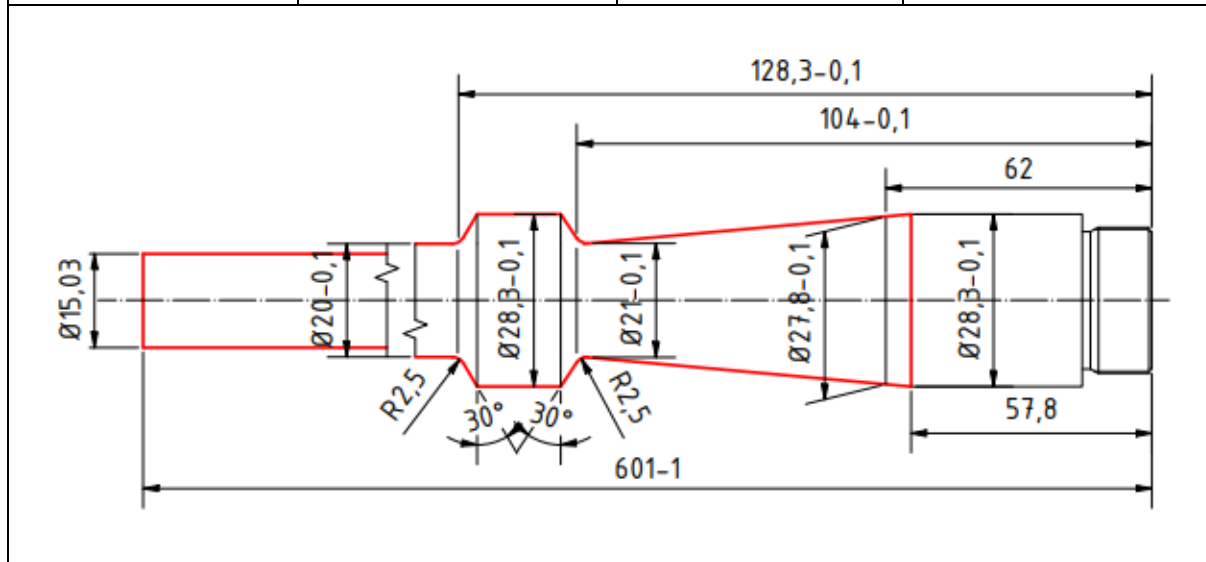
12	SOUSTRUŽIT	Zarovnění čela, osazení pro upnutí	SOUSTRUH HROTOVÝ
----	------------	------------------------------------	------------------



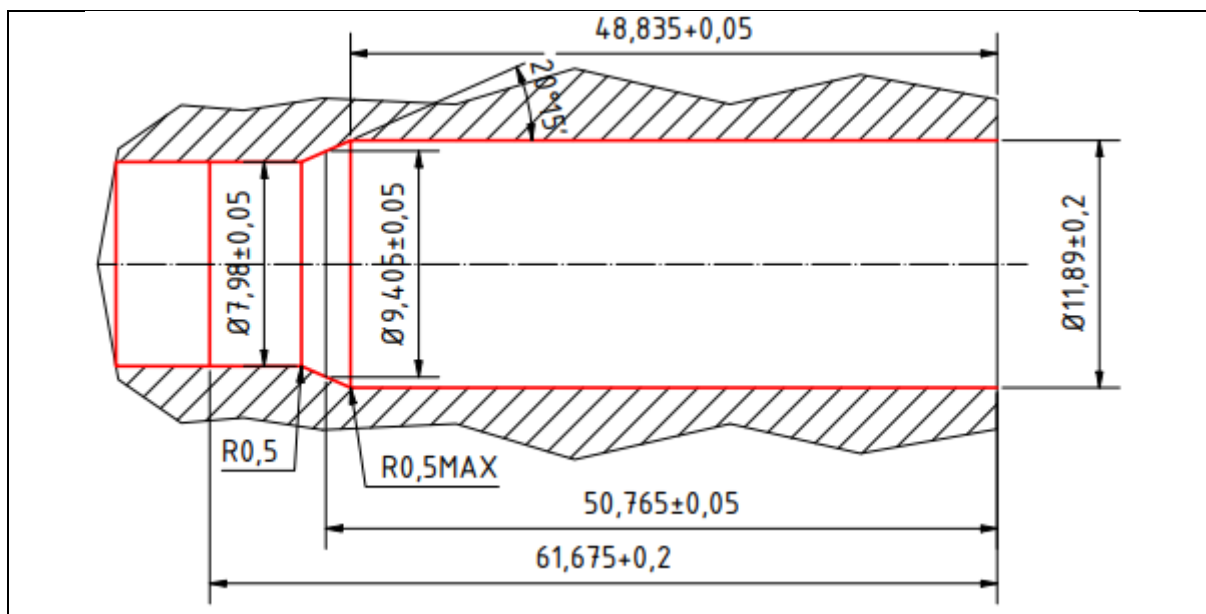
13	UPÍCHNOUT, SOUSTRUŽIT, ZAHLOUBIT	Upíchnutí náběhu pro kovátka, zhloubení díry	SOUSTRUH HROTOVÝ
			
14	SOUSTRUŽIT	Zarovnání čela, osazení pro upnutí	SOUSTRUH HROTOVÝ
			
15	BROUSIT	Vybrušení plochy pro lunetu	BRUSKA HROTOVÁ
			
16	OBRABĚT NA CNC	Obrábění závěru hlavně	SOUSTRUH AUTOMATICKÝ CNC TNA500



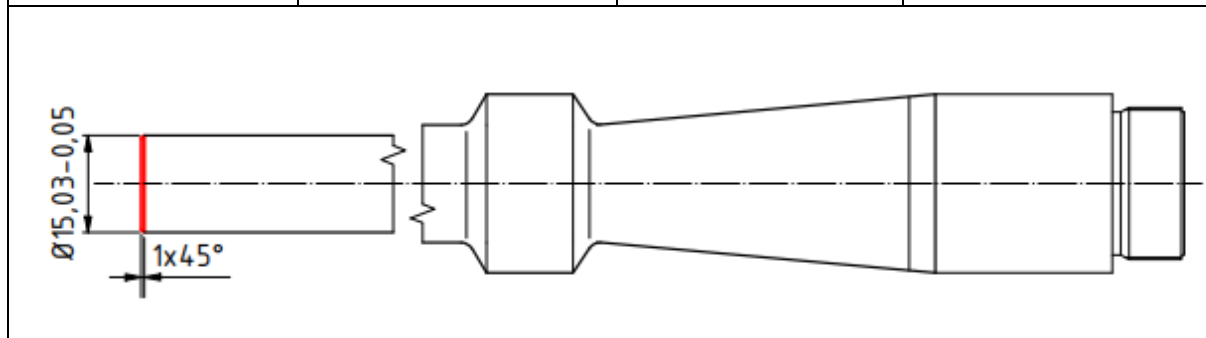
17	OBRÁBĚT NA CNC	Obrábění vnějšího tvaru	SOUSTRUH AUTOMATICKÝ CNC TNA500
----	----------------	-------------------------	---------------------------------



18	STABILIZOVAT	Odstranění vnitřního pnutí (stabilizační žihání)	PEC VAKUOVÁ
19	ČISTIT, ROVNAT PODLE STÍNU	Kontrolování podle stínu a kontrola po tepelném zpracování	ROVNACÍ STOJAN
20	BROUSIT	Broušení vnějšího povrchu hlavně	BRUSKA HROTOVÁ
21	UPRAVIT	Odstranění stop po lunetě a sražení hran	SOUSTRUH HROTOVÝ
22	VYHRUBOVAT	Vyhrubování nábojové komory	SOUSTRUH NA VYSTRUHOVÁNÍ



23	VYSTRUŽIT	Vystružování nábojové komory	SOUSTRUH NA VYSTRUHOVÁNÍ
24	LEŠTIT	Leštění nábojové komory	VRTAČKA STOLNÍ
25	ČISTIT	Čištění vývrtu	
26	KONTRLOVAT	Kontrola vzhledu opracování	
27	SOUSTRUŽIT	Soustružení ústí hlavně	SOUSTRUH AUTOMATICKÝ CNC TNA500



28	IZOTERMICKY KALIT, POPUSTIT	Izotermicky kalit popustit na 850-1080 MPa	PEC VAKUOVÁ
29	KONTRLOVAT TVRDOST	Kontrolování tvrdosti hlavně	TVRDOMĚR
30	ODMASTIT	Umývání, oplachování, vyfoukávání	
31	KONTRLOVAT TRHLINY	Kontrola trhlin	DEFEKTOSKOP
32	ČISTIT, ROVNAT DLE STÍNU	Kontrolování podle stínu	ROVNACÍ STOJAN

33	PŘELEŠTIT KOMORU	Finální leštění nábojové komory	VRTAČKA STOLNÍ
34	KONTROLOVAT	Výstupní kontrola	
35	ZNAČIT	Popsat značení ráže	
36	KONZERVOVAT	Konzervace hotové hlavně v oleji	

4. ZÁVĚRY

V první části této bakalářské práce byla popsána funkce řešené součásti, tj. hlaveň slouží k udělení počáteční rychlosti střely a dále její rotaci. Byly popsány hlavní části hlavně, jako jsou nábojová komora, závěrová část, přechodový kužel a vodící část vývrtnu. Také jsou zobrazeny možnosti tvaru vývrtnu, který může být pravoúhlý, polygonální nebo lichoběžníkový. Dále v první kapitole byla zhodnocena nejlepší možná volba polotovaru, kde se uvažovalo mezi odlévaným nebo hutním polotovarem, přičemž byl vybrán jako vhodnější hutní polotovar kvůli svým lepším mechanickým vlastnostem. V návaznosti na volbu polotovaru byl zvolen nejlepší možný postup výroby vývrtnu. Protlačování ani drážkování nejsou ideální volbou pro vývrt drážek, naopak rotační kování je z těchto metod díky zpevnění materiálu nejlepší volbou. Oproti jiným metodám jsou zde výhody také z hlediska úspory materiálu, protože u rotačního kování je polotovar dlouhý zhruba 2/3 celkové délky vykované hlavně. Další kapitola je zaměřena na stěžejní operace při výrobě hlavně. Jednou z nich je příprava otvoru, kde je popis vrtání hlubokého otvoru, používané metody a poté úprava vyvrtané díry. Druhá podkapitola se věnuje již kování, kde je prvně vypsáno působení plastické deformace během procesu kování a poté již princip procesu rotačního kování, používané stroje a nástroje. Naposledy byl zhotoven výkres hlavně a k němu vytvořen technologický postup výroby, kde jsou zobrazeny všechny operace jako třeba kování, soustružení nebo vrtání písemnou formou i s grafickou dokumentací.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [23]

1. *Zbraně kvalitně.cz: Nauka o zbraních* [online]. CZECHNOLOGY, 2005 [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://zbrankvalitne.cz/zbrojni-prukaz/nauka-o-zbranich>
2. *Inovace SEBS a ASEBS: Historie palných zbraní* [online]. Fakulta sportovních studií Masarykovy univerzity: Arcsin, 2013 [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.fsps.muni.cz/inovace-SEBS-ASEBS/elearning/strelba/historie>
3. *Sporting classics daily: How to choose the right rifling twist* [online]. 2017 [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://sportingclassicsdaily.com/rifle-twist/>
4. *Repliky zbraní shop.cz: Pistole* [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.replikyzbranishop.cz/repliky-zbranishop/eshop/8-1-Pistole/0/5/464-Francouzsko-soubojova-perkusni-pistole-1832>
5. *Airsoft Team Chrudim* [online]. 2010 [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: http://www.airsoftchrudim.cz/recenze/m4_ris_aimtop.html
6. JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavně zbraně a střelivo*. Brno, 2012, 115 s. ISBN 978-80-260-2384-5.
7. MORAVEC, Zdeněk. *Kování hlavní*. Brno, 2019. 28 s, 1 příloha, CD. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116381>.
8. *Odlitky a liti, kování a tváření* [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: http://physics.ujep.cz/~mkormund/P232/Liti_kovani.pdf
9. *Obrábění* [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <http://physics.ujep.cz/~mkormund/P232/Obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD.pdf>
10. NEZVAL, Vít. *Zlepšování užitečných parametrů balistických měřidel*. Brno, 2018. 91 s. Dizertační práce. Univerzita obrany.
11. LOUTOCKÝ, P. *Analýza konstrukce a funkce stroje na drážkování hlavní*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 121 s. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=66850
12. LIDMILA, Zdeněk, Jan LUKEŠ a Emil SVOBODA. *STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE II: Technologie ve výrobě zbraní a munice*. Brno: RVO VA, 1999, 164 s.
13. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření II*. Brno: Vydavatelské oddělení UO, 2008, 113 s. ISBN 978-80-7231-580-2.
14. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření I*. Brno: Vydavatelské oddělení UO, 2008, 112 s. ISBN 978-80-7231-579-6.
15. HORÁK, K. *Tepelná a mechanická odolnost zinkového povlaku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 72 s. Dostupné z: <http://www.ustavkonstruovani.cz/FileDownload/getFile/374/Horak2.pdf/>
16. *Poruchy krystalové mřížky* [online]. 2018 [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://ag-acko.webnode.cz/news/a11-poruchy-krystalove-mrizky/>
17. *Mechanické vlastnosti a charakteristiky materiálů I* [online]. 2019 [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/113525464-Mechanicke-vlastnosti-a-charakteristiky-materialu-i.html>
18. *Mechanické vlastnosti a charakteristiky materiálů* [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2684614/>
19. JANDA, Luděk. *Tahová zkouška trubek*. Brno, 2015. 55s, 2 přílohy, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=104795

20. *Tepelné zpracování ocelí (druhy a způsoby)* [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2810347/>
21. *Vnitřní struktura kovů* [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: https://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-st-05_vnitrnistrukturakovu.pdf
22. *Houskatech's Blog: Mechanika* [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://houskatech.wordpress.com/mechanika/>
23. CITACE PRO. Generátor citací [online]. 2013 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Francouzská perkusní pistole [4].....	9
Obr. 2 Útočná puška M4 [5].....	9
Obr. 3 Řez hlavní [3].....	9
Obr. 4 Drážkování hlavní [4].....	9
Obr. 5 Členění vývrtu hlavní [6].....	10
Obr. 6 Základní pojmy hlavní [6].....	10
Obr. 7 Druhy drážek [6].....	11
Obr. 8 Schéma procesu drážkování [12].....	12
Obr. 9 Tlačný trn [12].....	12
Obr. 10 Schéma procesu protlačování [12].....	13
Obr. 11 Schéma procesu rotačního kování [11].....	13
Obr. 12 Metody vrtání hlubokých otvorů [12].....	16
Obr. 13 Dělový vrták [12].....	17
Obr. 14 Konstrukce hlavňového vrtáku [12].....	17
Obr. 15 Vrtací hlava s připájenými břitovými destičkami [12].....	18
Obr. 16 Vrtací hlava s vyměnitelnými břitovými destičkami [12].....	18
Obr. 17 Honovací hlava pro malé průměry [12].....	20
Obr. 18 Honovací hlava se třemi honovacími kameny [12].....	20
Obr. 19 Základní typy krystalových mřížek [15].....	22
Obr. 20 Bodové vady v krystalové mřížce [14].....	22
Obr. 21 Čárové vady v krystalové mřížce [16].....	23
Obr. 22 Dvojčatění [17].....	23
Obr. 23 Tahový diagram [19].....	23
Obr. 24 Skluzová deformace kovového krystalu způsobená pohybem šroubové dislokace [14].....	24
Obr. 25 Nejčastější skluzové roviny [14].....	24
Obr. 26 Rekrytalizace zrn [20].....	26
Obr. 27 Závislost teplota – čas při rekrytalizačním žhání [20].....	26
Obr. 28 Jemnozrnná x hrubozrnná struktura [21].....	27
Obr. 29 Schémata hlavních napětí [14].....	28
Obr. 30 Mechanické zkoušky tvařitelnosti [22].....	30
Obr. 31 Rotační kování [13].....	31
Obr. 32 Konstrukce stroje WACKER [12].....	31
Obr. 33 Konstrukce typu GFM [12].....	32
Obr. 34 Tečení materiálu při rotačním kování [12].....	33
Obr. 35 Rotační kování hlavní [13].....	33
Obr. 36 Kovací stroj GFM [19].....	33
Obr. 37 Kovací trn [7].....	34
Obr. 38 Kování drážkové části [12].....	34
Obr. 39 Kování nábojové komory [12].....	34

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Technologický postup výroby malorážové hlavně.....	35
---	----

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

S	Posuv	[mm]
L	Délka	[mm]
D	Průměr	[mm]
R _a	Drsnost povrchu	[μm]
VB	Dovolené opotřebení	[mm]
R _p	Mez kluzu	[MPa]
R _m	Mez pevnosti	[MPa]
ε	Poměrná deformace	[-]
έ	Rychlost deformace	[m/s]
v _r	Rychlost	[m/s]
μ	Součinitel tření	[-]
w	Úhlová rychlost	[rad/s]
ε _D	Poměrná deformace průměru	[-]
D ₀	Průměr před kováním	[mm]
D ₁	Průměr po kování	[mm]
ε _s	Poměrná deformace tloušťky stěny	[-]
s ₀	Tloušťka stěny před kováním	[mm]
s ₁	Tloušťka stěny po kování	[mm]
ε _l	Poměrná deformace délky	[-]
l ₀	Délka před kováním	[mm]
l ₁	Délka po kování	[mm]
RO	Rychlořezné ocel	
SK	Slinutý karbid	
BCC	Krystalová mřížka prostorově středěná	
FCC	Krystalové mřížka plošně středěná	
HCP	Šesterečná mřížka	
T _{TV}	Teplota tváření	

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výkres hlavně