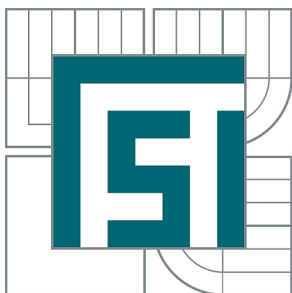


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA PRAŽCOVÉHO ŠROUBU

PRODUCTION OF SLEEPER SCREW

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

FILIP BARTOŠEK

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK LIDMILA, CSc.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Filip Bartošek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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 pražcového šroubu

v anglickém jazyce:

Production of sleeper screw

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pražcové šrouby, tzv. "vrtule" se využívají k připevnění kolejového svršku k podloží. Jedná se o masivní šroub, tvořený vydutou válcovou hlavou s obdélníkovým výstupkem pro montážní klíč a dříkem. Válcový dřík je ve spodní části opatřeným závitem a vytváří zde vrut pro upevnění v pražci.

Cíle bakalářské práce:

Práce bude obsahovat návrh a rozbor možných způsobů výroby pražcového šroubu se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti. Na základě analýzy možných výrobních postupů bude vybrána optimální technologie výroby, pro kterou bude zpracována literární studie. Dále bude zpracován technologický postup výroby doložený nezbytnými technologickými výpočty. Součástí řešení pak bude i výkresová dokumentace nástrojů, zhodnocení navrženého řešení a závěry.

Seznam odborné literatury:

1. HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
2. KOTOUČ, Jiří, et al. Tváreční nástroje. 1. vyd. Praha: Vydavatelství CVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
3. LIDMILA, Zdeněk, Teorie a technologie tváření. 1.vyd. Brno:Univerzita obrany, 2008. 106 s. ISBN 978-80-7231-580-2
- 4.FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 13.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

BARTOŠEK Filip: Výroba pražcového šroubu

Bakalářská práce vypracovaná v rámci bakalářského studia řeší technologický postup výroby pražcového šroubu při využití technologie objemového tváření za tepla. Práce vznikla ve spolupráci s firmou ŠROUBÁRNA KYJOV s.r.o. Šroub bude vyráběn z materiálu ČSN 11 503. Jedná se o konstrukční nelegovanou ocel se zaručenou svařitelností. Na základě literární studie objemového tváření za tepla bylo zvoleno pěchování v uzavřeném nástroji pro výrobu hlavy šroubu. Ke zhotovení závitu byla použita technologie válcování. Pro výrobu hlavy šroubu byl vybrán vodorovný kovací lis. Závít šroubu byl vyhotoven na tří – kotoučové válcovačce. Po výrobě šroubu byla použita povrchová úprava galvanickým zinkováním pro lepší odolnost proti korozi.

Klíčová slova: Pražcový šroub, závit, tváření za tepla, pěchování, válcování

ABSTRACT

BARTOŠEK Filip: Production of sleeper screw

Bachelor thesis developed in the bachelor degrees addresses technological process of the production sleeper screw. The production uses technology volume thermoforming. The project was elaborated in cooperation with the company ŠROUBÁRNA KYJOV s.r.o. The screw will be made from material ČSN 11 503. This material is unalloyed construction steel with property of weld. Based on the literature study technology volume thermoforming was chosen tamping in closed instrument for the production of head screw. For the production of screw-thread was chosen technology of rolling. For the production head of screw was chosen horizontal fitting press machine. After the production there were used surfacing by galvanic zinc coating because of the better corrosion resistance.

Keywords: sleeper screw, screw-thread, thermoforming, tamping, rolling

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BARTOŠEK Filip: *Výroba pražcového šroubu*. Brno, 2015. 46s., CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne

.....
Bartošek Filip

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. A také chci poděkovat mé rodině a přátelům, kteří mi byli celou dobu oporou.

OBSAH

ZADÁNÍ

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

1	ROZBOR ZADÁNÍ	11
1.1	TECHNOLOGIČNOST VÝROBY	12
2	NÁVRH VÝROBY ZADANÉ SOUČÁSTI.....	13
2.1	VOLBA ZPŮSOBU VÝROBY	13
3	TVÁŘENÍ ZA TEPLA.....	14
3.1	VÁLCOVÁNÍ	14
3.1.1	PŘÍČNÉ VÁLCOVÁNÍ.....	15
3.1.2	PODÉLNÉ VÁLCOVÁNÍ.....	16
3.1.3	KOSÉ VÁLCOVÁNÍ.....	17
3.2	KOVÁNÍ.....	17
3.2.1	VOLNÉ KOVÁNÍ.....	18
3.2.2	ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ.....	22
3.2.3	KONSTRUKCE VÝKOVKU	22
3.2.4	KONTRUKCE ZÁPUSTKY	25
3.2.5	OHŘEV NA KOVACÍ (TVÁŘECÍ) TEPLITU	27
3.2.6	STROJE PRO KOVÁNÍ.....	30
3.2.7	PŘESNÉ KOVÁNÍ	33
3.2.8	DĚLENÍ MATERIÁLU	35
4	TECHNOLOGIE VÝROBY PRAŽCOVÉHO ŠROUBU.....	36
5	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	42
6	ZÁVĚR.....	46

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

SEZNAM OBRÁZKŮ

ÚVOD

Objemové tváření za tepla patří mezi základní technologické operace. Důležitými procesy objemového tváření za tepla jsou kování a válcování. Tyto technologie nacházejí uplatnění ve velkosériové a hromadné výrobě. Výroba je výhodná především díky úspoře materiálu. Výrobky (výkovky) se vyznačují vysokou houževnatostí, celistvostí struktury a odolností proti šíření křehkého lomu při dynamickém zatěžování v průběhu provozu součástí. V současné době se stále zvyšují požadavky na vyráběné součásti a kování je někdy i jediný způsob, jak požadovanou součást kvalitně a ekonomicky vyrobit (obr. 1).

Aby bylo dosaženo efektivnosti výhod při objemovém tváření, ve výrobě jsou zaváděny rozsáhlé automatizační, mechanizační a manipulační opatření. Tvářené součásti mají uplatnění hlavně v automobilové a ostatní dopravní technice, v energetice, ve spotřební technice a ostatních odvětvích průmyslu.

V této práci je řešen návrh technologického postupu výroby pražcového šroubu, který slouží pro upevnění pražce. V práci je řešena teorie válcování a kování. Na základě řešené problematiky je zvolen optimální technologický postup. Technologický postup se skládá ze dvou základních operací. Pro vytvoření hlavy šroubu je použita metoda přechování a pro zhotovení závitu metoda válcování. Na závěr práce je stanoveno technicko – ekonomické zhodnocení jak pro metodu tváření, tak pro metodu obrábění.

Podklady pro výrobu pražcového šroubu poskytla firma ŠROUBÁRNA KYJOV s.r.o., která je významným výrobcem pražcových šroubů.



Obr. 1 Výkovky zhotovené kovářím [32]

1 ROZBOR ZADÁNÍ [12][19]

Cílem mé bakalářské práce je stanovit návrh a rozbor možných způsobů výroby pražcového šroubu a zhodnotit jejich vhodnost a nevhodnost pro výrobu. Z navrhnutých výrobních postupů vybrat ten nejvhodnější, pro něj pak zpracovat literární studii a na jejím podkladě sestavit technologický postup výroby včetně výkresové dokumentace potřebných nástrojů.

Řešená strojní součást je typu šroub, který je tvořený válcovým dříkem a válcovou vydutou hlavou, která je zakončená obdélníkovým výstupkem pro montážní klíč. Ve spodní části dříku je vrutový závit, který slouží pro upevnění v pražci.

V našem případě se jedná o pražcový šroub (obr. 2), nazývaný také jako vrtule, který se používá pro upevnění pražce (obr. 3). Šroub má délku 196mm, délka dříku je $161\pm 5,0\text{mm}$, závit je dlouhý 110mm a má průměr $\varnothing 24\pm 0,5\text{mm}$, průměr hlavy má hodnotu $\varnothing 44\pm 1,0\text{mm}$. Šroub se vyrábí z materiálu ČSN 11 503. Jedná se o svařitelnou nelegovanou konstrukční ocel, jejíž chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulkách 1 a 2.

Pražcový šroub je na závěr výrobního procesu galvanicky zinkován pro lepší odolnost proti korozi.



Obr. 2 Upevnění pražce [29]



Obr. 3 Pražcový šroub

Tab. 1 Chemické složení materiálu [21]

OZNAČENÍ			CHEMICKÉ SLOŽENÍ [%]				
Evropa		ČR	C_{MAX}	Mn_{MAX}	Si_{MAX}	P_{MAX}	S_{MAX}
EN 10025/1990	DIN 17100	ČSN					
S355J2G4	St 52-3 N	11 503	0,20	1,60	0,55	0,025	0,025

Tab. 2 Mechanické vlastnosti materiálu [21]

OZNAČENÍ			MECHANICKÉ VLASTNOSTI		
Evropa		ČR	R_{Eh} [MPa]	R_{m} [MPa]	A [%]
EN 10025/1990	DIN 17100	ČSN			
S355J2G4	St 52-3 N	11 503	345	470 – 630	21 – 22

Práce vznikla ve spolupráci s firmou ŠROUBÁRNA KYJOV, spol. s.r.o. (dále jen ŠK), která je mnoholetým, ryze českým výrobcem spojovacího materiálu použitím technologie tváření za tepla. Na obr. 4 je logo společnosti.



Obr. 4 Logo společnosti [19]

Do výrobního plánu společnosti spadají výrobky pro železnice, doly, strojírenství, stavebnictví a automobilový průmysl.

Stěžejní činnost ŠK představuje výroba pražcových šroubů (obr. 5), konstrukčních šroubů, hákových šroubů, šroubů pro železniční svršek (obr. 6), matic, váček, důlních třmenů, šroubů a součástí pro speciální použití jako jsou nýty, napínače, kotevní šrouby, izolátorové háky aj.

Společnost se hlavně zaměřuje na zahraniční trhy, což představuje 80 % podílu exportu. ŠK vyváží výrobky do mnoha evropských zemí, jako např. Rakousko, Německo, Itálie, Francie, Portugalsko, Španělsko, Řecko, Švýcarsko, Slovinsko, Chorvatsko a v posledních letech roste export do USA, Jižní Ameriky a Asie.

Firma získala certifikáty, které se týkají environmentálního managementu, tedy snižování dopadu činností organizace na životní prostředí (ISO 14001) a systému managementu jakosti (ISO 9001) od společnosti Lloyd's Register Quality Assurance. ŠK je dceřinou společností Třineckých železáren, které dodávají do ŠK polotovary pro výrobu.



Obr. 5 Pražcové šrouby [19]



Obr. 6 Ostatní železniční šrouby [20]

1.1 TECHNOLOGIČNOST VÝROBY

Součást má nejvyšší požadovaný rozměr s přesností $4 \pm 0,3$ mm. Nepředepsané mezní úchytky se tolerují dle normy ČSN ISO 2768 – c (třída přesnosti – hrubá).

Předepsané dovolené prohnutí v ose šroubu má hodnotu 1 mm. Vrtule má předepsáno vyšší počet délkových tolerancí, které však nejsou výjimečně přesné a tudíž není potřeba využívat speciální stroje pro kalibrování. Šroub je povrchově upravován galvanickým zinkováním.

Po výrobě šroubu je na dřík nasunuta podložka, která se zajistí, proti vypadnutí, vrypy do horní části dříku.

2 NÁVRH VÝROBY ZADANÉ SOUČÁSTI [4] [10] [24]

Pro zhotovení pražcového šroubu se nabízejí dvě základní technologie, kterými jsou obrábění a tváření. Je nutné zvážit několik zásadních faktorů, které ovlivňují výrobu např. mechanické vlastnosti součásti, čas pro výrobu jednoho kusu, výrobní cena součásti, apod.

• OBRÁBĚNÍ

Při použití technologie obrábění (obr. 7) dochází k oddělování částic materiálu od obrobku. Oddělování materiálu od obrobku se definuje jako řezný proces, který závisí na způsobu ubírání třísky materiálu. Obrábět můžeme ručně nebo strojně.

Při použití této technologie je možné dosáhnout vysoké přesnosti a velice dobré drsnosti povrchu. Obrábět pražcový šroub není vhodné zejména z příčiny přerušení vláken v materiálu. Tím by se zapříčinilo snížení jeho mechanických vlastností a dále by docházelo k poměrně velkému odpadu materiálu.

Celkový čas potřebný pro vyrobení jednoho kusu šroubu by byl vysoký, a proto se z ekonomického hlediska nevyplatí použít technologii obrábění k výrobě této součásti.

• TVÁŘENÍ

Tváření (obr. 8) je proces, při kterém získávají polotovary konkrétní navržený tvar za působení vnějších sil. Částice hmoty se trvale přemísťují účinkem klidných sil (lisování, válcování apod.), nebo rázy (kováním, nýtováním apod.) a nedochází tak k porušení materiálu. Jedná se tedy o beztržiskovou technologii. Díky tomu, že nedochází k porušení materiálu a tedy ani k porušení vláken, mají konečné výrobky velmi dobré mechanické vlastnosti.

Tato technologie se uplatňuje hlavně v hromadné a sériové výrobě, především kvůli využití materiálu. Ztráta materiálu při tváření dílců charakteru šroubu je asi jen 5 až 10 %, čím se podstatně snižují výrobní náklady a je to tedy z ekonomického hlediska výhodnější varianta výroby pražcového šroubu.

Tváření se dělí např. v závislosti na teplotě na dva způsoby a to na tváření za studena (pod rekrytalizační teplotou) a na tváření za tepla (nad rekrytalizační teplotou).



Obr. 7 Obrábění [24]



Obr. 8 Tváření [5]

2.1 VOLBA ZPŮSOBU VÝROBY

Po srovnání těchto dvou možností výroby řešené součásti a s přihlédnutím na sériovost výroby, která činí 25mil. ks/rok a k požadovaným mechanickým vlastnostem, je pro výrobu pražcového šroubu zvolena technologie tváření za tepla. Tato varianta se jeví jako nejlevnější a s nejnižším procentem odpadu při dodržení požadovaných vlastností výrobku.

3 TVÁŘENÍ ZA TEPLA [4] [10]

Tváření za tepla (obr. 9) probíhá nad rekrytalizační teplotou, kdy je deformační zpevňování do značné míry eliminováno rekrytalizací. Ohřevem se zmenšuje pevnost materiálu (tab. 3), což má za následek vznik malých přetvárných odporů. Je nutné přesáhnout mez pružnosti materiálu, ale nesmí se přesáhnout jeho mez pevnosti. Zlepšuje se tedy jeho tvárnost a síly potřebné ke tváření jsou až desetkrát menší, než u tváření za studena.

Nevýhodou této technologie je zhoršení kvality povrchu materiálu, vlivem vzniku okujů, které způsobují ztráty opalem (při jednom ohřevu, činní tyto ztráty až 3 % z hmotnosti polotovaru). Další nevýhodou je hrubnutí zrna, které vzniká při vyšších tvářecích teplotách. To lze odstranit následným tepelným zpracováním. Dále lze považovat za nevýhodu energetickou náročnost, zapříčiněnou nezbytným ohřevem polotovaru na požadovanou teplotu.

Při tváření za tepla vzniká vláknitá struktura, změnou primárních krystalů v průběhu tváření, která zlepšuje mechanické vlastnosti finálního výrobku. Tuto strukturu nelze změnit žádným způsobem tepelného zpracování. K základním technologiím tváření za tepla patří válcování a kování.



Obr. 9 Tváření za tepla [5]

Tab. 3 Pokles pevnosti se vzrůstající teplotou [3]

Pevnost uhlíkové oceli R_m při vzrůstajících teplotách [MPa]							
20 °C	600 °C	700 °C	800 °C	900 °C	1000 °C	1100 °C	1200 °C
400	120	85	65	45	30	25	20
600	250	150	110	75	55	35	25
800	375	250	165	110	75	50	35

3.1 VÁLCOVÁNÍ [9] [24]

Válcováním se zpracovává 80 – 85 % vyrobené oceli, ze které se válcují polotovary určené pro kování, tažírny, ocelové konstrukce a hotové výrobky. Výchozím polotovarem pro válcování je ingot odlitý do kokily nebo polotovar zhotovený kontinuálním litím. Válcovaný polotovar, ingot nebo předvalek nelze vyválcovat jedním průchodem mezi válci na požadovaný koncový průřez. Průřez se musí postupně zmenšovat a až postupnými průchody mezi válci, ve stále menších mezerách, se získá polotovar s požadovaným konečným průřezem. Konečný průřez je označován jako profil vývalku a hotový výrobek je nazýván vývalek tj. plechy, tyče rozdílných průřezů, profily apod.

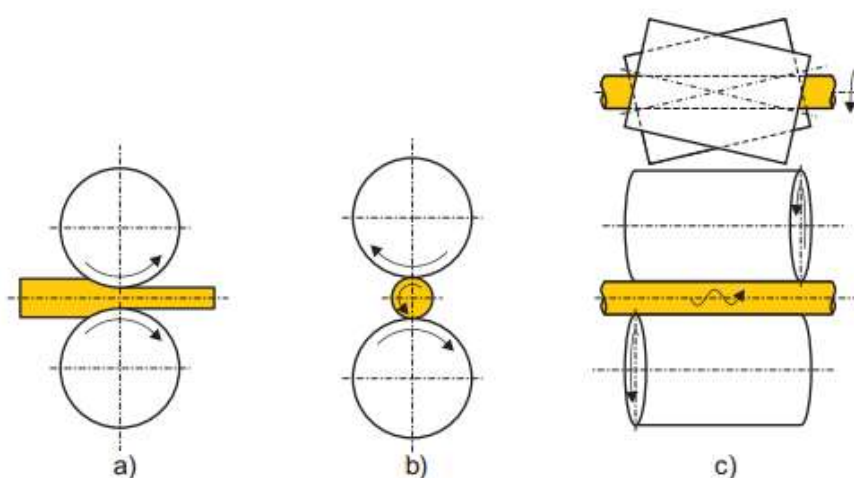
Základním výrobním dílem válcovny je válcovací trať, která je navzájem propojená stroji, strojními částmi, dopravními a manipulačními mechanismy, které jsou nezbytné pro realizování válcovacích pochodů. Do těchto zařízení lze zařadit válcovací stolice, stroje pro ohřev materiálu, ochlazování, rovnání, dělení materiálu apod.

Při válcování se předpokládá dodržení zákona stálosti objemu tvářeného materiálu, který má podobu:

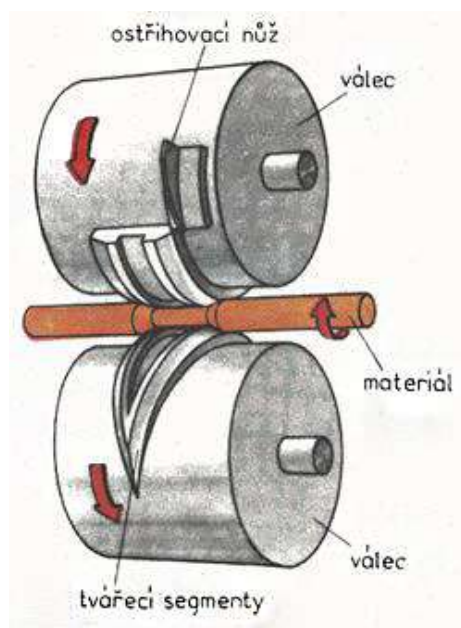
$$h_0 \cdot b_0 \cdot l_0 = h_1 \cdot b_1 \cdot l_1 = V = \text{konst.} \quad (3.1)$$

kde: h_0 – výška polotovaru před válcováním [mm]
 b_0 – šířka polotovaru před válcováním [mm]
 l_0 – délka polotovaru před válcováním [mm]
 h_1 – výška polotovaru po válcování [mm]
 b_1 – šířka polotovaru po válcování [mm]
 l_1 – délka polotovaru po válcování [mm]

Podle vzájemné polohy válců a polotovaru dělíme válcování na podélné, příčné a kosé. Tyto tři varianty jsou na obr. 10.



Obr. 10 Způsoby válcování, a) Podélné válcování, b) Příčné válcování, c) Kosé válcování [25]



Obr. 11 Příčné klínové válcování [25]

3.1.1 PŘÍČNÉ VÁLCOVÁNÍ [9] [24]

U příčného válcování jsou osy pracovních válců a válcovaného materiálu rovnoběžné. Tato metoda se používá pro zhotovení krátkých vývalků tvaru osazených hřídelí, pro válcování závitů, ozubení či pro zvětšení průměru kroužků.

• Příčné klínové válcování

Pracovní válce mají na sobě připevněny tvářecí segmenty, které mají tvar podle požadovaného tvaru vývalku. Výchozí polotovar je ohřát na kovací teplotu. Pracovní válce jsou pootočený tak, aby připevněné tvářecí segmenty nebránily vsunutí polotovaru do mezery. Následně se pracovními válci otáčí a segmenty se postupně zabořují do materiálu a tvarují polotovar. Směr otáčení pracovních válců je stejný a materiál se otáčí mezi těmito válci. V poslední etapě otáčení segmentový (ostřihovací) nůž, který bývá

přípevněn na jednom z válců, oddělí vývalek od tyče, viz obr. 11.

Tímto způsobem je možné vyrobit velmi složité rotační tvary na jednu operaci. Dále se tento způsob válcování používá pro zhotovení přesných podlouhlých vývalků, které slouží jako předkovky pro výkovky ojníc, montážních klíčů, pák apod.

- **Rozválcování kroužků**

Tato metoda se používá při výrobě kroužků velkých průměrů, kdy při rozválcování dochází ke zvětšování jejich průměrů. Polotovarem pro rozválcování je zpravidla ostřížený, zápustkový výkovek s proděravěnou blánou. Tento kroužek je nasazen na trn a tloušťka jeho stěny je redukována kladkou a zároveň může být i upravována jeho výška pomocí kuželovými kladkami viz obr. 12.



Obr. 12 Rozválcování kroužků [14]

- **Válcování závitů**

Válcování závitů se provádí pomocí dvou válcovacích kotoučů, na kterých jsou připevněny válcovací segmenty. Válcovací segmenty mají na povrchu vytvořený tvar potřebný pro výrobu závitu. Délka tohoto segmentu se vyrábí jako šestnásobek obvodu součásti a součást se tak při válcování šestkrát otočí. V prvních třech otáčkách se zhotoví závit a při dalších třech se závit kalibruje.

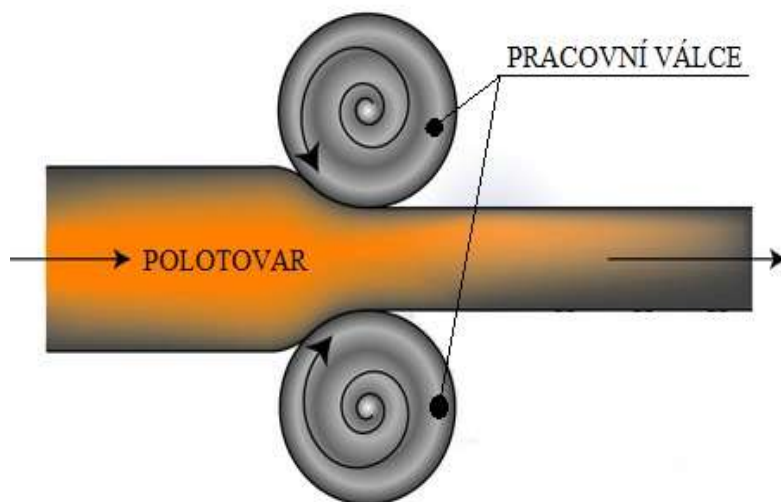
Polotovar je podáván z klece, která je připevněna na jednom z válcovacích kotoučů. Díky tomu, že průběh vláken v materiálu není přerušen, jsou válcované závity vysoce kvalitní, pevné a mají hladký povrch. Produktivita výroby je vysoká, pohybuje se v desítkách až stovkách kusů za minutu.

3.1.2 PODÉLNÉ VÁLCOVÁNÍ [9] [24]

U tohoto způsobu válcování jsou osy pracovních válců kolmé na osu válcovaného polotovaru. Pracovní válce se otáčejí proti sobě, vtahují válcovaný materiál do mezery mezi válci a deformují tvářený materiál za podmínek převažujícího tlaku. Podélným válcováním se zhotovují dlouhé vývalky rozdílných průřezů.

Pracovní válce mohou být hladké nebo kalibrované, svými čepy jsou uloženy v ložiskách stojanů a dohromady tvoří válcovací stolicí.

Při podélném válcování (obráz. 13) se materiál prodlužuje a zároveň se



Obr. 13 Podélné válcování [11]

rozšiřuje a zmenšuje se jeho tloušťka. Mezera mezi pracovními válci je menší, než výchozí tloušťka materiálu. Mění se i rychlost válcovaného materiálu, který vystupuje z válcovací stolice. Jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly, z velké části se nepodaří dosáhnout

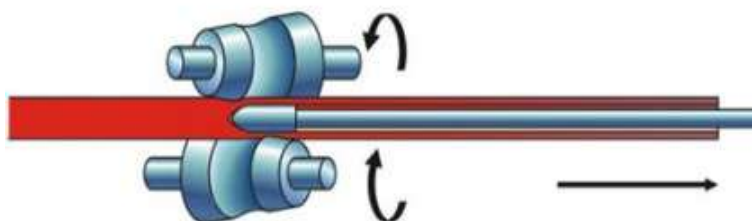
požadovaného tvaru průřezu v jedné válcovací operaci. Proto je umístěno několik válcovacích stolic za sebou.

Při válcování vzniká mezi pracovními válci a válcovaným materiálem tření. Velikost tohoto tření závisí na kvalitě ploch pracovních válců a na měrném tlaku.

3.1.3 KOSÉ VÁLCOVÁNÍ [9] [24]

Kosé válcování (obr. 14) je zvláštní způsob příčného válcování, kdy jsou osy pracovních válců navzájem mimoběžné a zároveň mimoběžné i s válcovaným materiálem. Pracovní válce mají tvar dvou komolých kuželů nebo hřibů. Používá se pro výrobu bezešvých trubek.

Trubky se válcují za kovací teplot z polotovaru kruhového průřezu a postup výroby se dělí do dvou etap. V první etapě se vyrobí tlustostěnná trubka kosým válcováním. Ve druhé etapě se souvislým nebo vratným podélným válcováním z této tlustostěnné trubky vyrobí



Obr. 14 Kosé válcování [34]

trubka tenkostěnná. Mimoběžné osy válců způsobují rozklad obvodové síly válců do dvou složek. První složka působí do směru osy vývalku a tím zajistí jeho posuvný pohyb.

Druhá složka působí ve směru obvodu vývalku, která zajistí jeho rotační pohyb. Vlivem působení válců vzniká tahové napětí, které společně s děrovacím trnem, který má neměnnou polohu, zapříčiní vznik dutiny.

3.2 KOVÁNÍ [9] [25] [26]

Kování se řadí mezi nejvíce používaný způsob tváření, na obr. 15 je ukázka ručního kování. Výrobky, které vzniknou touto metodou, nazýváme výkovky. Kove se hlavně za nadrekrytalizačních (kovacích) teplot, ale je možné kovat za poloohřevu nebo za studena. Kování se dělí podle různých hledisek:

- **Podle teploty:**
 - Kování za tepla
 - Kování za polotepla
 - Kování za studena
- **Podle toku materiálu:**
 - Volné kování
 - Zápustkové kování
 - Rotační kování
- **Podle způsobu práce:**
 - Ruční kování
 - Strojní kování
- **Podle použitého stroje:**
 - Kování na bucharech
 - Kování na vřetenových lisech
 - Kování na vodorovných klikových lisech
 - Kování na svislých klikových lisech



Obr. 15 Ruční kování [15]

3.2.1 VOLNÉ KOVÁNÍ [3] [9] [21]

Volné kování je rozděleno na ruční nebo strojní kování. U ručního kování je materiál tvářen opakovanými údery kladiva od kováře. Je to velmi namáhavá, zdlouhavá a nákladná práce, vyžadující zručné a zkušené dělníky. V současné době má největší využití při výrobě výkovků tzv. uměleckým kovááním.

U strojního kování je ruční práce nahrazena stroji, a to buď buchary, nebo hydraulickými lisami.

Buchary působí na tvářený materiál údery neboli rázy beranu a prokovou jej jen do určité hloubky. Aby se dosáhlo vyššího stupně prokování, je nutné, aby buchar působil více údery. Při úderu beranu do tvářeného materiálu odpadávají okuje, což má za následek čistý a lesklý povrch.

Lisy působí na materiál klidným tlakem a tím prokovou celý jeho průřez, často jen na jeden zdvih. Lisy pracují klidně, bez rázů a otřesů, jsou hospodárnější a bezpečnější. Před lisováním je třeba odstranit okuje, aby nebyly zatlačovány do povrchu materiálu, který by nebyl čistý a hůře by se obráběl.

Počátečními polotovary jsou válcované materiály nebo ingoty. Výkovky kované volným kovááním se navrhuje převážně s technologickými přídávky a s přídávky na obrábění.

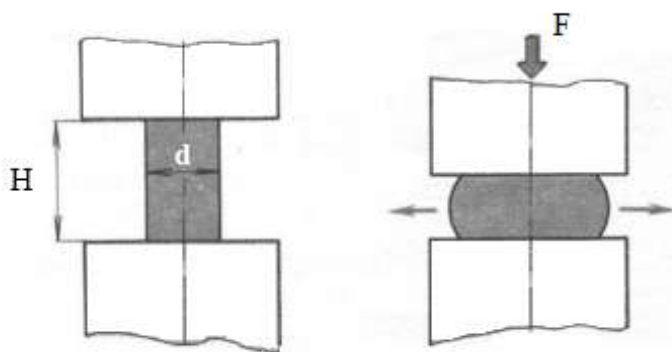
Používané nástroje jsou jednoduchá kovadla (horní a spodní), jako např. rovinná, válcová, klínová apod. Pracovní plochy kovadel jsou kaleny z důvodu menšího opotřebení. Spodní části kovadel mají rybinovitý tvar pro jednodušší upevnění v bucharu nebo lisu.

Nežádoucím účinkem je tření, které vzniká mezi tvářecími nástroji a tvářeným materiálem. Tření způsobuje soudečkovitost, vyboulení nebo rozdílné prokování v různých částech výkovku. Do volného kování řadíme metody pěchování, prodlužování, prosazování, přesazování, osazování a děrování.

• Pěchování

Jedná se o proces, při kterém se zmenšuje výška a zvětšuje se příčný průřez polotovaru.

Používají se ústřižky z trubky nebo tyče, které jsou většinou symetrické, plné nebo i duté s rovnou osou. Polotovaz je umístěn mezi dvěma plochými nebo tvarovými čelistmi a je nutné zajistit vzájemnou rovnoběžnost. Následně je polotovaz stlačován ve směru své osy a tím se zvětšuje jeho průměr (obr. 16).



Obr. 16 Pěchování [33]

Mezi pracovními plochami a plochou polotovaru vzniká tření, které má za následek vznik nerovnoměrné deformace, neboli vznik soudečkovitého tvaru, což může vést ke vzniku podélných trhlin na povrchu polotovaru. Aby nedošlo ke vzniku trhlin, polotovaz se maže a funkční plochy nástrojů jsou leštěny.

Velikost deformace při procesu pěchování se vyjadřuje pomocí skutečné (logaritmické) deformace (3.2) nebo poměrnou deformací, nejčastěji v %, tzv. spěchováním (3.3):

$$\varphi = \ln\left(\frac{H}{H_0}\right) \quad (3.2)$$

kde: φ – logaritmické přetvoření [–]

H_0 – počáteční výška [mm]

H – konečná výška [mm]

$$\epsilon = \left(\frac{H_0 - H}{H_0} \right) \cdot 100 \quad (3.3)$$

kde: ϵ – poměrná deformace [%]

Hodnoty dosahované u spěchování jsou největší při kování za kovacích teplot. U dobře tvárných ocelí se hodnoty poměrného přetvoření pohybují v rozmezí 60 až 80 %.

Pěchovaná délka polotovaru je omezena poměrem, který se stanoví ze vztahu (3.4), za předpokladu, že čela pěchovaného polotovaru jsou rovná, rovnoběžná a kolmá k ose stroje.

Poměr se vyjádří ze vztahu:

$$H_{\text{OMAX}} = 3 \cdot D_0 \quad (3.4)$$

kde: H_{OMAX} – maximální počáteční výška [mm]

D_0 – počáteční průměr [mm]

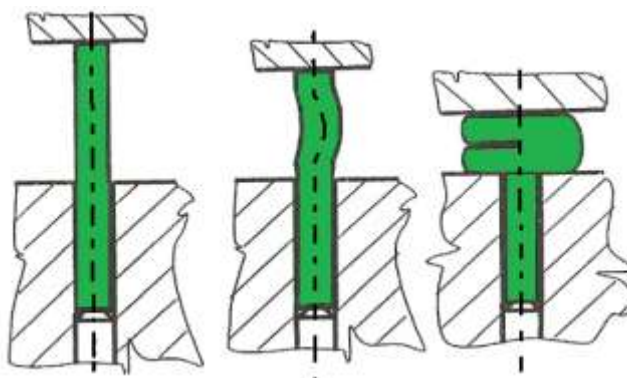
Pokud není dodržen tento poměr, je nutné použít metodu pěchování v uzavřeném nástroji. Tento způsob často bývá jednou operací v technologickém postupu výroby součásti typu šroub. Pěchuje se pouze část délky polotovaru a vytváří se tak hlava šroubu. Pěchovaná délka přesahuje často předepsané hodnoty (poměr pěchované délky) a je nezbytné pěchování rozdělit do dvou nebo více operací.

K zabránění vybočení a vzniku přeložky při pěchování polotovaru o velké štíhlosti (obr. 17), je polotovar středěn na obou svých koncích. Tvar dosažený z první pěchovací operace, nazývané také jako předpěchovací. V další pěchovací operaci lze dosáhnout konečného požadovaného tvaru, je-li splněn poměr pěchovací výšky k průměru. Pokud není splněno, je třeba dalších pěchovacích operací.

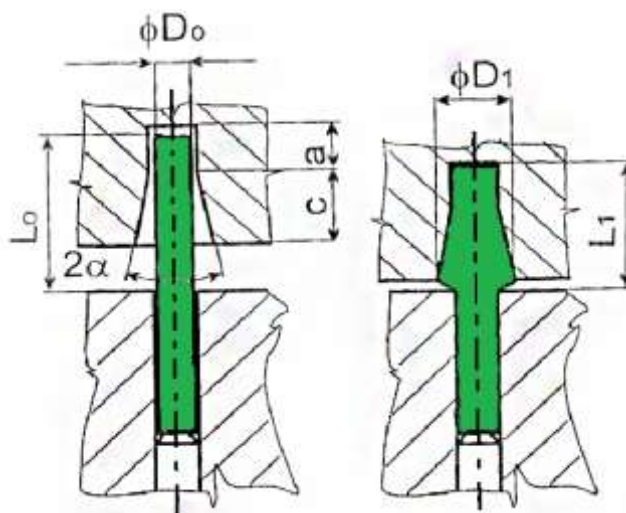
V tab. 4 jsou uvedeny hodnoty, které se doporučují pro konstrukci pracovních částí předpěchovacího nástroje (obr. 18) v závislosti na požadovaném pěchovacím poměru.

Tab. 4 Doporučené hodnoty předpěchovacího nástroje: [9]

Pěchovací poměr L_0/D_0	2,5	3,3	3,3	4,3	4,5
2α [°]	15	15	15	20	25
a [mm]	$0,6 \cdot D_0$	$1,0 \cdot D_0$	$1,4 \cdot D_0$	$1,7 \cdot D_0$	$1,9 \cdot D_0$
c [mm]	$1,37 \cdot D_0$	$1,56 \cdot D_0$	$1,66 \cdot D_0$	$1,56 \cdot D_0$	$1,45 \cdot D_0$



Obr. 17 Vznik přeložky [9]



Obr. 18 Předpěchování [9]

Při pēchování vzniká v příčném průřezu polotovaru napětí, které je v ose maximální a směrem k okrajům se snižuje. Velikost napětí ve vzdálenosti x od osy polotovaru se vyjádří dle vztahu (3.5). Součinitel tření je závislý na podmínkách deformace, jakosti povrchu kontaktních ploch a použití maziva. U tváření za tepla nabývá součinitel tření při pēchování ocelových polotovarů hodnot 0,2 až 0,3 při použití maziva a bez mazání 0,4 až 0,5.

$$\sigma_x = \sigma_p \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot \mu}{H_0} \cdot \left(\frac{D_0}{2} - x \right) \right] \quad (3.5)$$

kde: μ – součinitel kontaktního tření [–]

σ_p – přirozený přetvárný odpor materiálu [MPa]

σ_x – napětí materiálu ve vzdálenosti x od osy polotovaru [MPa]

Integrací rovnice (3.5) po čelní stykové ploše a polotovaru a následným podílem touto plochou se získá hodnota skutečného přetvárného odporu:

$$\sigma_d = \sigma_p + \frac{\sigma_{xMAX} - \sigma_p}{3} \quad (3.6)$$

kde: σ_d – skutečný přetvárný odpor [MPa]

Největší velikost napětí skutečného přetvárného odporu, které je v ose pēchovaného válce získáme tak, že nebudeme uvažovat žádnou vzdálenost od osy, tedy $x = 0$.

$$\sigma_{dMAX} = \sigma_p \cdot \left(1 + \mu \cdot \frac{D_0}{H_0} \right) \quad (3.7)$$

kde: σ_{dMAX} – maximální přetvárný odpor [MPa]

Dosazením do rovnice (3.6) se získá konečný výraz pro výpočet skutečného deformačního odporu:

$$\sigma_d = \sigma_p \cdot \left(1 + \frac{\mu \cdot D_0}{3 \cdot H_0} \right) \quad (3.8)$$

Přirozený přetvárný odpor materiálu σ_p za kovacích teplot se stanoví z tab. 5:

Tab. 5 Přirozený přetvárný odpor materiál za kovacích teplot: [3]

T [°C]	Pevnost oceli R_m [MPa]			
	400	600	800	1000
1300	14	20	24	30
1200	18	22	36	50
1100	22	36	51	68
1000	30	54	75	109
900	45	75	115	159
800	66	111	155	230

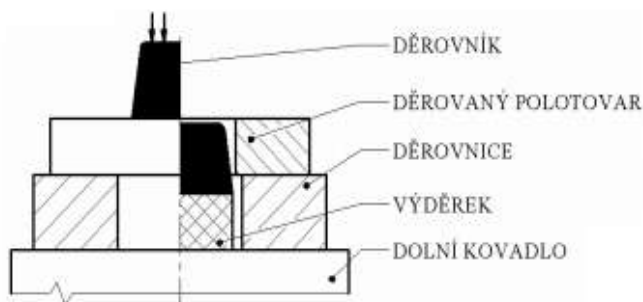
Velikost pýchovací síly se stanoví jako součin skutečného deformačního odporu a plochy průřezu pýchovaného polotovaru v rovině, která je kolmá na směr působení síly:

$$F = \sigma_d \cdot S \quad (3.9)$$

kde: S – plocha průřezu pýchovaného polotovaru [mm^2]

• Děrování

Děrování je možné použít, je-li potřeba vyrobit výkovek s průchozí nebo neprůchozí dírou. Otvory v tlustších polotovarech a do průměru 400mm se děrují pomocí plného děrovacího trnu. Otvory, které jsou větší než 400mm se děrují pomocí dutého trnu. Děrovací trn je mírně kuželovitý a do polotovaru se vtlačuje při působení kovádky. Obr. 19 znázorňuje princip děrování.

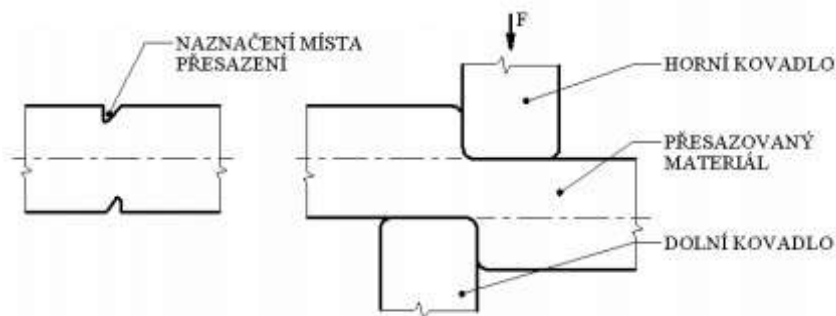


Obr. 19 Děrování [33]

• Prosazování, přesazování a osazování

Jedná se o metody, kterými lze např. docílit zmenšení průřezů u osazených hřídelů v ohraničených částech. Prosazení vzniká na nekoncových částech výkovku, ale osazení je zhotovené na koncích výkovku. Osazovat lze buď, jednostranně nebo oboustranně.

Přesazováním se přemísťuje objem určeného polotovaru. Osy vzniklé po přesazování jsou rovnoběžné s osou zbylé části výkovku. Je nutné naznačit, pomocí naznačovacích přílohek, oblast vymezení přesazovaného objemu, viz obr. 20.

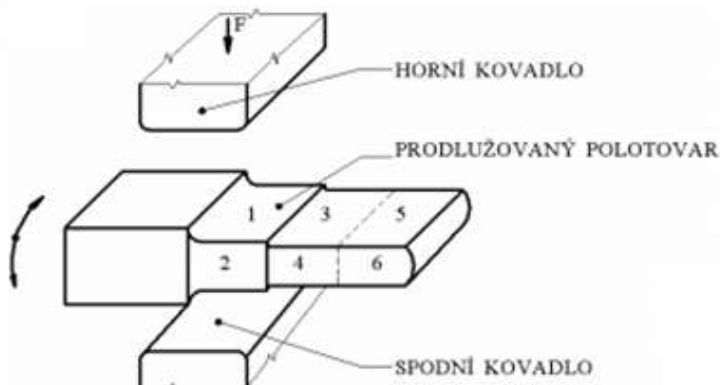


Obr. 20 Přesazování [33]

• Prodlužování

Jedná se o nejpoužívanější způsob volného kování. Při použití této technologie dochází k prodlužování délky polotovaru, ale zároveň dochází ke zmenšování jeho průřezu. Aby se dosáhlo prodloužení materiálu, je nutné provádět více pýchovacích operací za sebou (obr. 21).

Dále je nezbytné zabránit rozšiřování materiálu pouze v jednom směru. Toho se docílí pravidelným otáčením polotovaru o 90°.



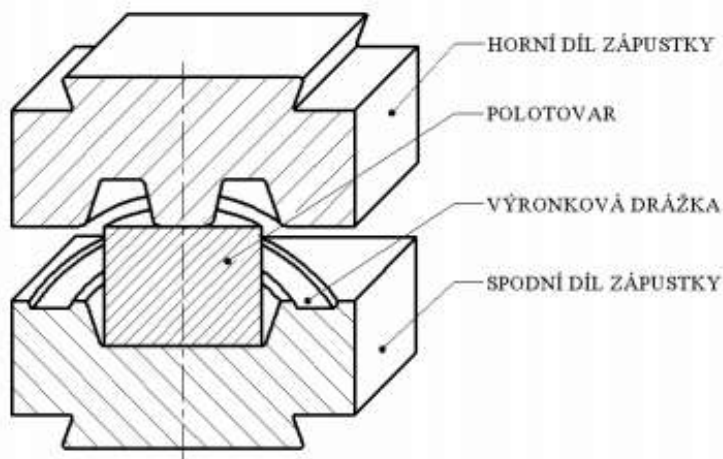
Obr. 21 Prodlužování [33]

3.2.2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ [9] [20] [21]

Při zápusťkovém kování je materiál vtlačován údery nebo tlakem do dutiny zápusťky, která bývá nejčastěji dvoudílná (horní a dolní). Přesnost výkovku a kvalita jeho povrchu je lepší, než při volném kování, výkovek má však omezené rozměry a hmotnost. Přesnost výkovku se dá zlepšit následným kalibrováním. Kolem dutiny v zápusťce je vytvořena výronková drážka, do které je vytlačován přebytečný materiál. Tímto se vytváří výronek, který se odštížením odstraní (obr. 22).

Tento způsob kování se používá při zhotovování velkých počtů tvarově stejných výkovků z oceli nebo jiných tvárných slitin.

Zahřátý materiál se tvaruje v dutině zápusťky, která má shodný tvar jako tvar výkovku a to tak, že se do spodní části zápusťky vloží výchozí polotovár a působením, do horní části zápusťky, tlakem nebo rázy tvářecího stroje, se zhotoví výkovek. Rozměry zápusťky jsou zvětšeny o hodnotu smrštění vychladlého výkovku. Dosahuje se vysokého stupně prokování.



Obr. 22 Schéma zápusťkového kování [33]

Při navrhování výkresu tvaru výkovku se musí nejdříve určit poloha dělicí

roviny tak, aby bylo zaručeno co nejlepší vyplňování spodní a vrchní části dutiny a aby bylo možné výkovek snadno vyjmout. Dále se určí přídavky na obrábění a přídavky technologické (úkosy, zaoblení), určí se tvrdost výkovku a místo pro zkoušku tvrdosti. Výkovek se na výkrese kreslí v poloze, ve které leží v zápusťce a v měřítku 1:1.

Stroje používané pro zápusťkové kování se jsou buchar, svislý kovací lis, vodorovný kovací lis a vřetenový lis.

3.2.3 KONSTRUKCE VÝKOVKU [2] [6] [9]

Při zhotovování výkresu výkovku se vychází z výkresu součásti, která se kovááním vyrobí. Rozměry a tvar výkovku jsou ovlivňovány několika faktory:

- Požadavky na přesnost výkovku – tyto požadavky mají vliv na volbu velikosti přídavků na obrábění a na toleranci, která je dána normou. Aby byly náklady na materiál a obrábění co nejnižší, je snaha o zhotovení výkovku s co nejvyšší přesností a s minimálními nebo, v nejlepším případě, s žádnými přídavky.
- Požadavky na mechanické vlastnosti, jakost povrchu a vnitřní vady – mechanické vlastnosti se obvykle předepisují jako určitý průběh vláken ve výkovku. Mechanické hodnoty uvedené v normách jsou pro podélný směr vláken. Pokud se požaduje jiný průběh vláken, tak je třeba tyto hodnoty procentuálně snížit, což je opět uvedeno v normách. Vady povrchu a vnitřní vady se tolerují, pokud jsou v normě a nezpůsobí závalu při použití výkovku.
- Použité tvářecí zařízení – určuje, s jakou přesností se výkovek zhotoví a jak se zkonstruuje. Nejmenší přesnost se docílí při použití bucharu, kde se musí zvětšit úkosy, které jsou nutné pro vyjmutí výkovku ze zápusťky. Vyšší přesnost na výkovku lze zhotovit při použití klikového lisu, který je vybavený vyhazovačem k vyjmutí výkovku

z dutiny, což umožňuje zmenšení úkosů. Nejvyšší přesnosti se dosáhne při použití speciálního kovacího zařízení, kterým je např. lis s horní výkyvnou zápustkou, kde vzhledem k postupné deformaci výkovku je možné tvářet rozměrné kusy bez ohřevu.

- Požadavky na mechanizaci a automatizaci kovacího procesu – vyžaduje se tvarová úprava výkovku, jako je stopka pro přenos a úprava ploch pro orientaci výkovku kovaného v automatických linkách.

Výkovek je také nutné rozdělit podle složitosti tvaru do různých skupin (obr. 23). Tím se usnadňuje sestavování výkresu, konstrukce zápustky a technologický postup pro každou skupinu.

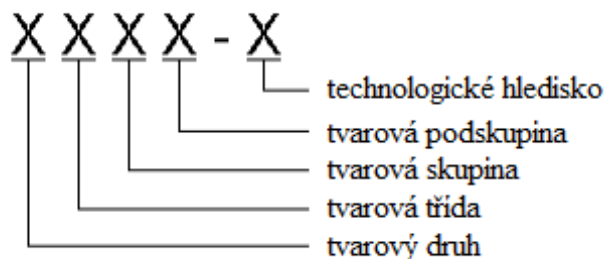
Zápustkové výkovky se třídí podle normy ČSN 42 9002, která označuje výkovky pětímístným číslem, jak je znázorněno na obr. 22.

Mezi základní konstrukční parametry zápustkových výkovků patří dělicí plocha, přídavky na obrábění, technologické a mezní úchytky rozměrů a tvarů (obr. 24):

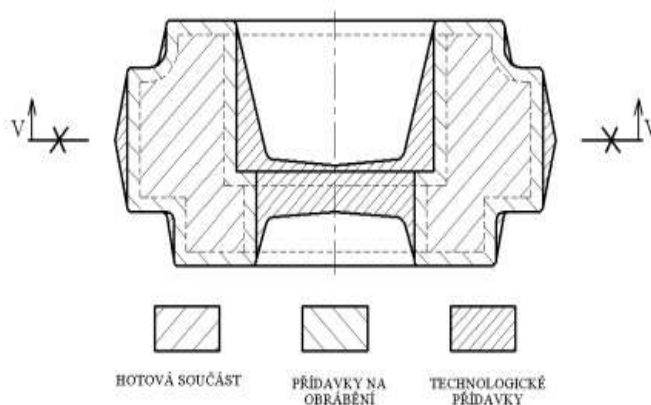
- Dělicí plocha – rozděluje výkovek na část kovanou v horní a dolní zápustce. Její poloha musí hlavně zaručit snadné vyjmutí výkovku z dutiny. Kvůli tomu se dělicí plocha volí v největším průřezu výkovku. Na její poloze závisí i průběh vláken.

Pro určení dělicí plochy je několik zásad:

- a) Zpravidla má být rovná, jen v nevyhnutelných případech lomená.
 - b) Musí umožnit předkování otvorů.
 - c) Závisí na ní náročnost výroby kovací dutiny v zápustce i konstrukce ostřihovacího nástroje pro odstranění výronku.
 - d) Při správné volbě může zajistit vizuální kontroly přesazení výkovku, vyplývajícího z přesazení obou polovin zápustky a zmenšení technologického přídavku, plynoucího z úkosů ploch kolmých na dělicí rovinu.
 - e) Zvolit tak, aby odpor proti zatékání kovu do dutiny nástroje byl co nemenší.
- Zaoblení hran a přechodů – jsou nutná pro lepší zatékání kovu, který by ostrý roh nevyplnil. Stejně jako u úkosů se vnitřní rádius volí asi 2,5 krát větší než vnější. Velikost zaoblení lze stanovit z tabulek či norem.
 - Blána – je to přepážka, která zůstává v otvoru při jeho předkování. Pokud je průměr otvoru malý, není třeba předkovávat a výkovek se kove s technologickým přídavkem, který vyplní celý otvor. Je-li průměr díry větší, tak se otvor předková a technologický přídavek se zmenší na tenkou kovací blánu.
 - Zesílení tenkých stěn a žeber – tato zesílení jsou nezbytná, kvůli obtížnému zatékání kovu do úzkých mezer (štěrbín). To je navíc ztíženo při tvářením za tepla, neboť zde dochází k intenzivnímu ochlazování tenkých detailů na tvořícím se výkovku. Úzká



Obr. 23 Třídění výkovků dle normy ČSN 42 9002 [33]



Obr. 24 Přídavky na výkovku [33]

žebra ztěžují kování, zvyšují energii a snižují životnost nástrojů, které jsou chladným kovaným materiálem v místě žeber vydírány.

- Přídavky technologické – doplňují tvar výkovku tak, aby byl z hlediska technologického vhodný pro kování. Jedná se o úkosity na stěnách, zaoblení hran, blány v otvorech, zvětšení tloušťky tenkých stěn a žeber. Zařadit do nich lze i přídavky, pro zjednodušení komplikovaného tvaru, pro manipulaci nebo pro odběr vzorků na mechanické zkoušky materiálu.
- Přídavek na obrábění – předepisuje se tam, kde je nezbytné mechanického obrábění k dosažení velké rozměrové přesnosti, hladkost a jakost povrchu např. součásti určené k cementování, povrchovému kalení aj. Velikost přídavků se stanovuje rozdílným způsobem dle použité normy.
- Úkosity se zhotovují na plochách kolmých k dělicí ploše a slouží pro snadnější vyjmutí výkovku z dutiny zápustky. Na vnitřních plochách se úkosity volí větší (asi 2,5 krát) než na vnějších plochách z důvodu chladnutí a smrštění materiálu. V tabulce 6 jsou uvedeny normalizované úkosity.

Tab. 6 Úkosity zápustkových výkovků [9]

Úkosity zápustkových výkovků na plochách	vnějších	vnitřních
Zápustkové úkosity se běžně zhotovují s úkosity	3°	7°
Pro buchary a lisy bez vyhazovače se dovolují úkosity	7°	10°
Pro lisy s vyhazovačem se dovolují úkosity	2° až 3°	3° až 5°
Pro výkovky kované na vodorovných kovacích strojích	0° až 5°	0° až 5°

Výchozím polotovarem, pro kování drobných výkovků, je většinou používáno tyčového polotovaru. Je-li použito pro kování postupové zápustky, je možné vykovat výkovek na konci tyče a po dokončení jej odseknout na utínce. Výkovky velkých rozměrů se kovají z jednotlivých polotovarů.

Kování přímo z tyče je použito např. při příčném klínovém válcování pro zhotovení vývalku. Po vyválnování se vývalek na konci tyče oddělí a je přesunut ke kovacímu bucharu. Tímto způsobem se např. kovají výkovky dvojkusu ojnice. Konec tyče se v induktoru ohřeje na kovací teplotu, následně se na jejím konci vyválcuje vývalek, který je následně nožem oddělen. Z tohoto vývalku se vykově výkovek dvou ojnic, které jsou spojené výronkem a po jeho ostřížení se získají samostatné hotové výkovky ojnic.

Velikost základního polotovaru se stanoví z objemu materiálu, který je nutný pro výkovek. Objem polotovaru je roven součtu objemu výkovku, který je dán výkresem výkovku, objemu výronku a objemu materiálu znehodnoceného při ohřevu polotovaru, tedy:

$$V_{\text{pol}} = V_v + V_{\text{výr}} + V_o \quad (3.10)$$

kde: V_{pol} – objem polotovaru [mm^3]

V_v – objem výkovku [mm^3]

$V_{\text{výr}}$ – objem materiálu spotřebovaného na výronek [mm^3]

V_o – objem materiálu spotřebovaný pro opal [mm^3]

Objem výronku je stanoven z následujícího vztahu:

$$V_{\text{výr}} = (0,6 \text{ až } 0,8) \cdot V_{\text{vd}} \quad (3.11)$$

kde: V_{vd} – objem výronkové drážky [mm^3]

Objem materiálu, který je spotřebován pro opal, závisí na způsobu ohřevu a stanoví se z těchto vztahů:

Ohřev v plynové peci:

$$V_o = (0,025 \text{ až } 0,03) \cdot V_v \quad (3.12)$$

Ohřev v odporové elektrické peci:

$$V_o = (0,01 \text{ až } 0,015) \cdot V_v \quad (3.13)$$

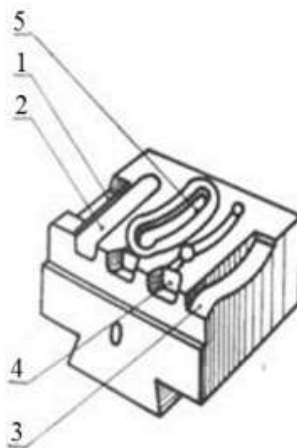
Ohřev v indukční peci:

$$V_o = (0,005 \text{ až } 0,01) \cdot V_v \quad (3.14)$$

Pro jednoduché tvary výkovků se objem určí výpočtem. U složitějších tvarů se stanovuje objem výkovku pomocí průřezového obrazce. Tato metoda umožňuje stanovit rozměry a objem výchozího polotovaru a dále určit tvar a rozměry předkovku.

3.2.4 KONTRUKCE ZÁPUSTKY [8] [9] [21]

- Zápustka pro buchar – konstruuje se jako masivní blok, ve kterém jsou vytvořeny požadované dokončovací a přípravné dutiny. Poloha jednotlivých dutin se volí tak, že nejvíce namáhaná dutina (nejčastěji dokončovací) se nachází ve středu zápustky, tedy v ose beranu. Další dutiny (přípravné a předkovací) se umísťují co nejblíže ke středu zápustky a to od nejnamáhavější po nejméně namáhanou. Nejméně namáhané dutiny (ohýbací a prodlužovací) jsou umístěny u okraje (obr. 25).



- 1- Dutina prodlužovací
- 2- Dutina rozdělovací
- 3- Dutina předkovací
- 4- Dutina kovací
- 5- Dokončovací dutina

Obr. 25 Postupová zápustka [9]

Výhodné je, aby dutiny byly umístěné v takovém pořadí, v jakém sledu budou jednotlivé operace prováděny.

Dále se bere v úvahu umístění ohřívací pece a ostřihovacího lisu vzhledem k poloze bucharu.

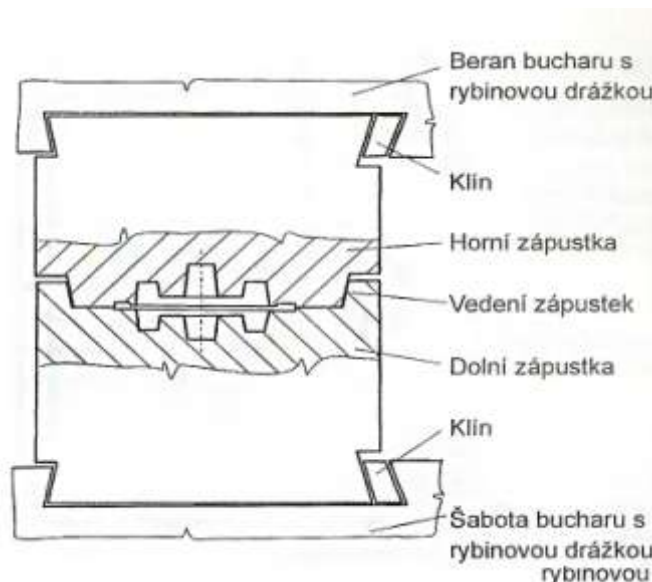
Dolní a horní zápustka se pomocí středících kolíků nebo vedení vzájemně centruje. Při centrování kolíky je použito dvou až čtyřech středících kolíků, které se umístí tak, aby jejich střed spojnic ležel ve středu dutiny.

Pokud není použito středících kolíků nebo jiného způsobu centrování, vyhotoví se na zápustce kontrolní roh. Tento roh tvoří dvě navzájem kolmé, přesně opracované plochy, které jsou umístěny na bočních stěnách zápustky. Slouží jako výchozí plochy při výrobě zápustky a dále jako kontrolní plochy pro správné upnutí na bucharu.

Pro upnutí zápustky do bucharu se používá rybinová vedení a drážka pro středící pero. Rybina zápustky se umístí do rybinovité drážky v šabotě (spodní část bucharu) a do beranu bucharu.

V příčném směru je středění zápustky zajištěno pomocí klínu, který je zatlučen do mezery mezi upínacími drážkami na beranu a šabotě (obr. 26).

V podélném směru se středění zápustky zajistí pomocí pera, které je umístěno v ose zápustky nebo ve vybrání bočních stěn rybiny. Drobný zápustkový blok se připevňuje pomocí držáků, které se umísťují mezi beran a zápustku.



Obr. 26 Upínání bucharové zápustky [9]

Kovací (dokovací) dutina má tvar a rozměry stanovené z tvaru a rozměrů výkovku podle vypracovaného výkresu. Okolo celé dokovací dutiny se v dělicí ploše vyrobí výronková drážka, která slouží pro přebytečný materiál, který vyplňuje dutinu.

Výronek se skládá z můstku, který brzdí vytékání kovu z dutiny do výronku a ze zásobníku, který slouží pro pojímání přebytečného materiálu.

- Zápustky pro lisy – kvůli tomu, že lisy nepracují rázy ale tlakem, má vliv na konstrukci zápustky. Zápustkové dutiny nejsou vyrobeny v jednom masivním bloku, ale každá dutina je v samostatné zápustkové vložce.

Zápustková vložka (zápustka) je obvykle hranatá, na zadní straně má upínací drážku a na přední straně úkos. Válcové zápustkové vložky se zhotovují pro kruhové výkovky a upínají se do držáku zápustek pomocí hranatých mezivložek s válcovým otvorem.

Pomocí držáku jsou zápustkové vložky upnuty v pracovním prostoru klikového lisu. Díky tomuto držáku je zajištěno dokonalé středění horních a dolních zápustkových vložek vodícími kolíky. Kolíky jsou zalisované ve spodní polovině držáku a vedeny ve vodících pouzdrech do horní poloviny. Zápustkové vložky jsou obvykle vzadu upnuty pomocí lišty a vepředu pomocí upínky a úkosu. Tyto upínací segmenty jsou upevněny v horním a dolním bloku držáku pomocí T-šroubů. Každá zápustková vložka se upíná samostatně. Držák je v pracovním prostoru lisu upevněn šrouby, jeho přesné ustavení se provádí distančními vložkami.

V klikových lisech lze kovat výkovek v maximálně třech operacích, přičemž každá operace je provedena na jeden zdvih lisu. Při dalším zdvihu, je nutné přenést výkovek do další zápustkové dutiny, kde bude dále přetvářen. To znamená, že na klikovém lisu lze uskutečnit dvě předkovací operace a jednu dokovací operaci.

V předkovacích dutinách získává výkovek přibližný tvar jaký je v dokovací dutině. Snahou je, aby materiál nebyl protlačován ale pěchován. Provádí-li se kování na tři operace, tak v první operaci se polotovár často pouze napěchuje mezi rovnoběžnými

deskami, kde se docílí přetvoření a odstraní se okuje. Okuje se odstraňují stlačeným vzduchem mimo prostor zápustek. Přetvořený materiál se přenesení na druhou předkovací zápustku, kde je při druhém zdvihu lisu opět předkovan mezi horní a dolní zápustkou. Po přenesení výkovku do poslední dokovací operace a po vykonání třetího zdvihu lisu, získává výkovek konečný požadovaný tvar.

Dokovací dutina se zhotoví obdobně jako u zápustky bucharu. Všechny rozměry výkovku nad 10mm je třeba zvětšit o hodnotu smrštění a okolo celého tvaru výkovku navrhnout výronek v dělicí ploše. Klikový lis má stabilní velikost zdvihu a stálou polohu úvratě, proto je výronková drážka otevřená a zápustky na sebe nedosedají.

Mezera mezi dolní a horní zápustkou musí vždy odpovídat tloušťce můstku výronkové drážky. Výška výronkové drážky je podmíněna pružením lisu, a proto se nesmí lis spustit s vloženými zápustky bez vloženého materiálu. Došlo by k naražení horní zápustky na spodní.

Hlavním usměrňovačem měrného tlaku v dutině zápustky je můstek výronku. Pro členité výkovky se používá vyšších měrných tlaků, tj. nižší hodnota výšky můstku a větší hodnota jeho délky. Pro jednodušší výkovky se používá vyšší hodnota výšky můstku, ale musíme vzít v potaz podmínky pro ostříhování výronku.

3.2.5 OHŘEV NA KOVACÍ (TVÁŘECÍ) TEPLITU [8] [9] [21]

Podmínky pro ohřev materiálu, na tvářecí teplotu, by měly zaručit ohřátí v co nejkratším možném čase. Ohřev by neměl zdeformovat povrchovou a vnitřní jakost ohřívajícího materiálu při potlačení průvodních jevů ohřevu, tj. přehřátí, opalu, oduhličení, zhrubnutí zrna apod. Při zvolení optimálního ohřevu se zvyšuje tvařitelnost při poklesu deformačního odporu materiálu.

Horní tvářecí teplota (HTT) je nejvyšší povolená teplota, na kterou je možné ohřát polotovár. Tato teplota nesmí nikdy přesáhnout kritickou teplotu růstu zrna daného materiálu. Růst zrna závisí u uhlíkových a nízkolegovaných ocelí na obsahu uhlíku, ale u legovaných ocelí závisí na přísadových prvcích, které snižují tvařitelnost a zvětšují náchylnost k přehřátí a spálení. Oblast HTT se nachází 150 až 200°C pod teplotou solidu a je znázorněna na obr. 27.

Dolní tvářecí teplota (DTT) je nejnižší dovolená teplota pro tváření za tepla. Tato teplota se stanovuje zvlášť pro oceli podeutektoidní a zvlášť pro oceli nadeutektoidní. Důvod proč se DTT pro ocel stanovuje zvlášť je ten, že jsou rozdílné vlastnosti feritu a cementitu. Oblast DTT je znázorněna na obr. 27.

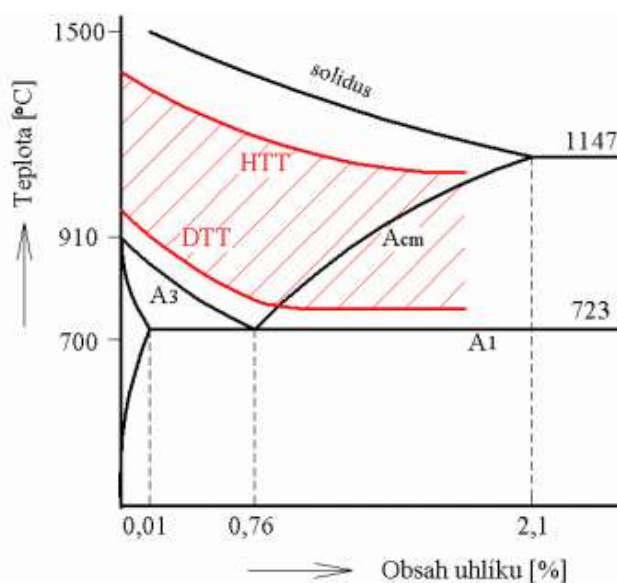
Pro podeutektoidní oceli se dolní tvářecí teplota nachází v rozmezí:

$$A_3 < DTT < (A_3 + 50) \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Pro nadeutektoidní oceli se dolní teplota nachází v rozmezí:

$$A_{cm} > DTT > A_1 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Pro správné zvolení ohřívacího režimu je nutné znát fyzikální veličiny ohřívajícího materiálu a znát závislost těchto veličin na teplotě:



Obr. 27 Tvářecí teploty uhlíkové oceli [33]

- Součinitel tepelné vodivosti – vyjadřuje množství tepla, které projde určitým průřezem za určitý čas při teplotním rozdílu na dané délce. Čím větší je tento součinitel, tím probíhá přesun tepla z povrchu do jádra ohřívaného polotovaru rychleji.
- Měrná tepelná kapacita – je definována jako množství tepla, které je třeba pro zvýšení teploty určitého objemu kovu. Čím je měrná tepelná kapacita vyšší, tím se prodlužuje doba ohřevu a zvětšuje se energetická náročnost ohřevu.
- Hustota – veličina definovaná jako poměr hmotnosti tělesa k celkovému objemu. Čím vyšší je hustota, tím je delší i doba ohřevu materiálu a vzrůstá energetická náročnost.
- Součinitel teplotní vodivosti – vyjadřuje poměr dodaného tepla k teplu potřebnému pro ohřev daného tělesa. Čím je hodnota vyšší, tím je kratší doba potřebná pro ohřev.
- Teplotní roztažnost – velké množství látek zvětšuje svůj objem při rostoucí teplotě. Čím větší je teplotní délková roztažnost, tím je větší tepelné pnutí a zmenšuje se rychlost ohřevu polotovaru.
- Mechanické vlastnosti – mají velký význam na odolnost ohřívaného materiálu proti tepelnému pnutí, které se objevuje při každém ohřevu.

Ohřívací zařízení se v kovárnách používají pro ohřev polotovarů a dělí se na pece plynové a elektrické. Konstrukce pece závisí na velikosti ohřívaného polotovaru, výkon pece a na zdroji tepla. Pro ohřev velkých polotovarů se používá pec komorová plynová. Výkon pece se udává jako množství ohřátého materiálu za jednotku času a je v rozmezí od několika kilogramů až po desítky tun za den.

Pece, které jsou delší, než 3 metry se stavějí jako vozové (Obr. 28), tzn., že mají výjezdnou nístěj pro snadnější ukládání a vyjímání vsázky. Častěji se stavějí pece průběžné (narážecí) do nichž je z jedné strany vkládán materiál, který za pomoci strkacího zařízení, které je umístěno mimo pec, klouže po skluznicích do pece. Na opačné straně pece je materiál postupně vysunut zakládacími polotovary. Průchozí pece se také stavějí jako karuselové, které mají válcový plášť a zakládací a vyjímací dveře jsou umístěny blízko sebe. Polotovar se založí do pece, která má otočné dno a při ohřevu se otáčí po kružnici. Pro ohřev konců tyčí a trubek se používá pec štěrbinová. Tato pec má stůl, na který se položí ohřívaný polotovar tak, že konec polotovaru zasahuje štěrbinou do ohřívacího prostoru pece.



Obr. 28 Vozová pec [30]

Pro ohřívání menších polotovarů se používají výhradně pece elektrické, které se dělí na indukční a odporové a odporové dále dělíme na pece s přímým nepřímým průchodem proudu:

- Indukční ohřev – V indukční peci vzniká teplo, které je způsobeno indukovaním vířivých proudů v ohřívaném polotovar, který je umístěn v magnetickém poli cívky.



Obr. 29 Indukční ohřev [7]

Vířivé proudy mají vysoké hodnoty a polotovary se rychle ohřívá. Teplo se nevytváří rovnoměrně v celém průřezu, zhruba 87 % tepla se vytvoří na povrchu v tzv. hloubce vniku.

Hloubka vniku je taková hodnota hloubky pod povrchem ohřívaného polotovaru, kde se intenzita elektrického a magnetického pole dostane na hodnotu zhruba 36 % intenzity povrchu. Závisí na elektrických a magnetických vlastnostech ohřívaného materiálu a na kmitočtu proudu, kterým je napájena ohřívací cívka. Příklad indukčního ohřevu je možné vidět na obrázku 29.

Pro praktické účely ohřevu je volen kompromisní kmitočet, kdy je dobrá účinnost elektromagnetického přenosu z cívky do ohřívaného polotovaru a dobrá tepelná vodivost. Používané kmitočty pro ohřev ocelových polotovarů indukčním ohřevem jsou uvedeny v tab. 7.

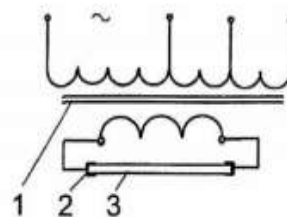
Tab. 7 Doporučený kmitočet pro indukční ohřev ocelí před kováním [9]

Průměr polotovaru [mm]	15 – 40	22 – 70	35 – 120	50 – 170	170 – 800
Kmitočet [Hz]	10 000	4 400	2 000	1 000	50

Ohřívací indukční pec, která využívá kmitočet v rozmezí 600 – 10 000 Hz se označuje jako středofrekvenční a používá se v běžných kovárenských provozech. Pro ohřev polotovaru velkého průměru a pro ohřev neželezných kovů, které mají dobrou elektrickou vodivost a hloubku vniku při nízkých kmitočtech malou, se používá nízkofrekvenční zařízení s hodnotou kmitočtu 50 Hz.

Hlavní výhodou indukčního ohřevu je rychlost, která je až desetkrát vyšší než při ohřevu plynovou pecí a šestkrát je pak menší zokoujení ohřátého polotovaru. Další výhodou je snadná mechanizace a automatizace v průběhu výroby.

- Ohřev přímým průchodem proudu – Tento způsob ohřevu je vhodný pouze pro štíhlé polotovary (dráty, tyče, trubky). Výstupní napětí závisí na ohřívaném výkonu, které se pohybuje v rozmezí 5 až 60 V a na délce polotovaru. Princip technologie je na obr. 30. Proud je přiváděn do polotovaru 3 pomocí speciálních, vodou chlazených, elektrod 2 z transformátoru 1, jehož napětí se reguluje přepínáním odboček na primárním vinutí.



Výhodou tohoto způsobu ohřevu je nízká spotřeba energie, velká rychlost ohřevu a jednoduchost zařízení. Nevýhodou je, že nelze ohřát pouze určitý úsek polotovaru, jak to umožňuje indukční ohřev.

Obr. 30 Principu přímého odporového ohřevu [9]

- Nepřímý odporový ohřev – Provádí se pomocí odporových článků, které jsou zabudované v komorových pecích. Díky konstrukci elektrické komorové pece lze provádět ohřev v ochranné atmosféře nebo vakuu. Využívá se zejména při ohřívání barevných kovů, kdy teplota nepřekročí hranici 1000°C. Tento způsob ohřevu je však pomalý, v porovnání s ostatními elektrickými ohřevy, a proto se často nahrazuje indukčním ohřevem.

3.2.6 STROJE PRO KOVÁNÍ [2] [3] [9] [21]

Pro zvolení jaký tvářecí stroj bude použit na výrobu požadované součásti, se musí uvažovat několik hledisek, mezi které patří např. počet kusů série, rozměry a tvar součásti, počet a složení kovacích linek ve firmě, jaké stroje jsou k dispozici, poměr ceny nástroje k počtu výrobků apod.

- **Kování na bucharech**

Tento způsob kování je vhodný pro výrobu menších výkovků (kleště, dláta, apod.), pro značně objemové výkovky, výkovky s výraznými změnami průřezu a výkovky s žebry nebo výstupky (kliková hřídel, náprava automobilů, apod.). Buchary (obr. 31), vzhledem k rázovým účinkům a setrvačným silám, lépe vyplní dutinu zápusťky než lisy.

Buchar pracuje rázem, který je nutné v základech stroje tlumit. Při každém zdvihu beranu je nashromážděná energie použita na deformaci materiálu v dutině zápusťky. Vyplnění dutiny zápusťky se docílí několika údery beranu.

Pro zápusťkové kování se využívá padacích a protiběžných bucharů. Technologický postup pro kování na bucharech obsahuje několik etap: předkování, kování v dokončovací dutině, ostřížení výronku a blány, dále může následovat kalibrování.

Předkováním získáme předkovek, který se tvarem polotovaru blíží k tvaru hotového výrobku.

V dokovací etapě se vyrobí hotový výkovek s výronkem případně i s blánami v předkovaných otvorech. Po dokování se výronek ostříhuje a zároveň se prostřihuje blána.

Předkování je nutné zejména u tvarově složitých výkovků, což jsou výkovky s proměnlivým průřezem, stranovými výstupky nebo s ohnutou hlavní osou. Předkovek lze získat:

- a) Na tvářecím stroji, kterým je válcovací stroj pro podélné a příčné válcování drobných výkovků, kovací stroj pro volné kování u velkých a tvarově různorodých výkovků.

Válcovací stroje se používají na přípravu vývalků, které plní funkci předkovků a je nutné rozdělit materiál podél podélné osy polotovaru. Příčným klínovým válcováním se materiál polotovaru přerazí podél osy na tvar vývalku. Z tohoto vývalku se vykove výkovek s rovnoměrným výronkem po celém jeho obvodu a následným ostřížením se získá konečný tvar výkovku. Tento způsob se používá pro výkovky kované ve větších sériích.

- b) V postupové zápusťce, která je připevněná přímo v zápusťkovém bucharu. Výkovek je přenášen z jedné dutiny do druhé za pomoci kleští nebo pomocí manipulátorů a robotů.

Je-li potřeba, tak se výkovek otáčí nebo překlápí. Předkovací a přípravná dutina nemá složitý tvar a vyznačuje se velkými úkosi a zaoblením, neobsahuje výronkovou drážku.

Výkovek se kove v masivním zápusťkovém bloku, který má na svých okrajích umístěny přípravné dutiny a ve střední části dutiny kovací a dokovací. V přípravných dutinách se přerazí materiál polotovaru podél podélné osy. Následně je polotovar vložen do předkovací dutiny, kde získá přibližný tvar finálního výkovku.



Obr. 31 Buchar [1]

V poslední etapě se předkovek přenesse do dokovací dutiny, kde se docílí konečného tvaru výkovku s výronkem. Tento postup je časově velmi náročný a nalézá uplatnění pouze pro malé série.

- **Kování na svislých klikových lisech**

Metoda kování na klikovém kovací lisu (obr. 32) je odlišná od kování na bucharu. Prvním rozdílem je rychlost kování. U klikových lisů je rychlost kování asi desetkrát menší, než rychlost kování na bucharu. Dalším rozdílem je, že nástroj lisu deformuje materiál tlakově a nikoliv rázy, jako u bucharu. Doba styku tvářeného kovu s horní polovinou zápustky je proti bucharu relativně dlouhá, pohybuje se v rozmezí 0,03 až 0,2s, kdež to u bucharu je doba styku v rozmezí 0,0007 až 0,001s. To způsobuje rovnoměrnější deformaci v celém tvářeném objemu a k vyváženějšímu zaplnění horní a dolní poloviny zápustky.

Při kování na svislých klikových lisech na sebe nesmí zápustky dosednout. U hlubokých dutin je doporučováno použít od vzdušňovací kanálky. Při opakovaném zdvihu již výkovek není tvářen a je přenesen do další zápustky, kde probíhá další operace jeho tváření. Operace tváření probíhá vždy v samostatné zápustce, takže v každé zápustce je jenom jedna dutina.

Předkování lze vykonat jen v omezeném rozsahu kvůli stálému zdvihu lisu. Kvůli tomu není možné uplatnit přípravné operace jako je prodlužování nebo rozdělování materiálu podél osy výkovku. Proto se tvarově složité výkovky předkovávají, ve větším rozsahu než u bucharů, na doplňkových tvářecích strojích, nejčastěji to jsou stoje válcovací.

Při kování na klikových lisech, se výkovek vykove při použití nejvíce třech zdvihů. Což má za následek krátký čas pro kování v lisu. Důraz je kladen na rychlost a operativnost ohřevu, kvůli tomu jsou pracoviště s klikovými lisy v drtivé většině vybaveny indukčním ohřevem.

- **Kování na vodorovných lisech**

Na vodorovných strojích se běžně kove ve čtyřech dutinách, které jsou umístěny vedle sebe nebo nad sebou. Umístění dutin závisí na typu kovacího stroje. Tento způsob kování se

užívá pro výkovky z osazených tyčí, trubek, kroužků, které jsou osově souměrné.

Vodorovný lis (obr. 33) obsahuje jeden svěrací a jeden pýchovací beran. Na svěracím beranu je zápustka připevněna pomocí šroubů a na pýchovacím beranu je připevněn razník také pomocí šroubů. Třídílná zápustka, kterou tvoří dvě dělicí roviny, poskytuje při kování některé výhody:

a) Kove se bez výronku nebo jen s minimálním výronkem, to má za následek maximální využití kovu. Součást ve tvaru kroužku nebo jemu



Obr. 32 Svislý kovací lis [18]



Obr. 33 Vodorovný kovací lis [23]

podobné, je možné zhotovit bez výronku a s průchozím otvorem, bez ztráty kovu, v podobě vystřihované blány.

V první operaci lze kovat přímo z konce tyče polotovaru, bez předchozího dělení na špalíky a to tak, že se napěchuje konec tyče. Ve druhé operaci se v napěchovaném konci vytvoří otvor a v poslední operaci se konec tyče oddělí a kroužek je vytvořen.

- b) Plné nebo duté výkovky, které jsou tvarově složité, mají minimální technologické přídatky. Výkovek vykovaný na svislém kovacím stroji má technologické přídatky na vnější ploše, která je osazená a dále obsahuje výronek, blánu a úkopy.

Výkovek vykovaný na vodorovném kovacím stroji žádný z těchto zmíněných přídatků nepotřebuje.

Pokud není možné určit přesný objem materiálu polotovaru nebo vynahradit případnou nepřesnost např. tloušťka prostřihované blány v otvoru, je použito kompenzátoru přebytečného kovu, což je malý výronek, který se vytvoří na vhodném místě tak, že se zvětší vůle mezi nástrojem a svěracím beranem.

- **Kování na vřetenových lisech**

Na tomto druhu lisu se výhodně zhotovují hlavně výkovky pro malosériovou výrobu. Kovací rychlost vřetenového lisu je nízká, pohybuje se v rozmezí 0,5 až 0,9 m·s⁻¹, a blíží se tak ke klikovým lisům. Z hlediska charakteru práce, především při naprostém vyčerpání kinetické energie setrvačníku při každém úderu a kinematickou nezávislost beranu na pohonném mechanismu, se shodují s buchary.

Vřetenové lisy (obr. 34) mají dlouhý zdvih, málo tuhé vedení beranu a vyhazovač v dolní polovině zápustky. Nejsou vyhovující pro postupové kování ani pro tvarově složité výkovky s výraznými změnami rozměrů ve směru rázu.

Technologický postup je třeba navrhnout tak, aby byl výkovek zhotoven v jednodutinové zápustce. Není možné na vřetenových lisech použít metodu prodlužování a rozdělování, jelikož vyžadují vyšší počet úderů beranu v jedné operaci. Pracovní postup musí v každém případě zajistit kování v jedné dutině na jeden úder.

Zápustky mají hranolovitý nebo válcový tvar a do vřetenových lisů jsou upevňovány pomocí přílohek a šroubů. Vedení beranu má poměrně velkou vůli a vyžaduje vzájemné vedení dolní a horní poloviny zápustky. Je použit stejný způsob vedení jako u buchary (vodící sloupky, případně centráž).

Zápustky jsou zhotoveny z celistvých bloků, které jsou často vložkovány. Vložkování znamená, že části zápustek, které jsou nejčastěji opotřebovány, do bloku vkládáme ve formě vložek, které umožňují samostatnou výměnu. Vložkováním je vhodné:

- a) Zhotovit celý zápustkový blok z levnějšího (horšího) materiálu a pro velmi namáhané úseky použít materiál co nejkvalitnější.
- b) Nahradit nebo renovovat jen vložku a nikoli celý zápustkový blok.

- **Kování na rotačních strojích**

Plné nebo duté osazené rotační výkovky s dlouhou hlavní osou se vyrábějí rotačním kovááním. Princip této technologie spočívá v redukování průřezu polotovaru kovátky, která působí na polotovar v kolmém směru na jeho osu. Dochází tak ke zmenšování průměru a prodlužování délky polotovaru. Rozdílné konstrukce strojů, používaných pro rotační kování, užívají různý počet kovátek, které vždy musejí mít synchronizovaný pohyb.



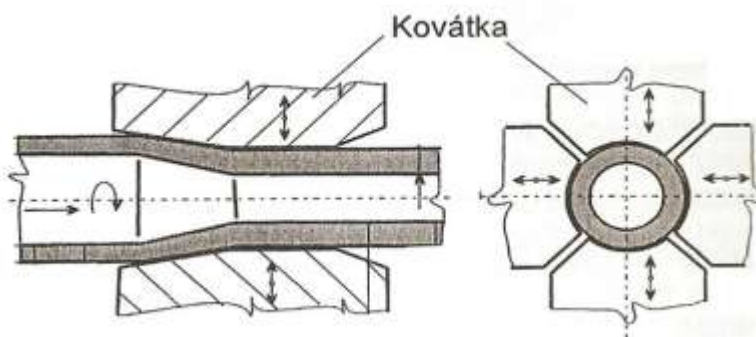
Obr. 34 Vřetenový lis [31]

Vždy probíhá současně několik operací najednou. Do těchto operací, které jsou naprogramované a řízené strojem, řadíme:

- kmitavý pohyb pracovních kovátek,
- posuv tvářeného materiálu mezi kovátka,
- rotační pohyb tvářeného materiálu,
- synchronizované svírání či rozevírání kovátek, při změně kovaného průměru.

V praxi jsou používány nejčastěji dvě metody pro rotační kování, které se odlišují rozdílným mechanismem přenosu kmitavého pohybu na kovátka. Při použití dvou kovátek, metoda fy Wackera, jejich pohyb je vyvozen od rotujícího výstředníkového hřídele, prostřednictvím dvouramenných pák. Při použití čtyř nebo šesti kovátek, metoda GFM, se pohyb každého kovátka zajišťuje samostatným klikovým mechanismem, který je zabudovaný v rámu stroje.

Podle velikosti výkovku pracují stroje za studena nebo za tepla. Výhodou rotačního kování (obr. 35) je především možnost velké deformace průřezu, vysoká přesnost, zhotovení tvarově členitých otvorů u trubkových výkovků. Přesnost při kování za studena je na vnějším



Obr. 35 Princip rotačního kování [9]

průměru ve stupni IT11, vnitřní průměr je v přesnosti IT8 až IT6. Za tepla se dosahuje stupně přesnosti na vnějším průměru IT12 a na vnitřním průměru IT9.

Při rotačním kování je celkem složité tečení deformovaného materiálu. Kovátka působí v radiálním směru na materiál, ale materiál teče jak ve směru radiálním,

tak i ve směru axiálním (ve směru osy). Na povrchu polotovaru, kde působí kovátka, vzniká největší intenzita tečení. Ve směru k ose polotovaru se snižuje intenzita tečení a příčné průřezy polotovaru tak nejsou konstantní. Po překročení kritické velikosti deformace dojde ke zrodu trhlin v materiálu.

3.2.7 PŘESNÉ KOVÁNÍ [9]

Přesným kovááním se docílí zhotovení výrobku tvarově a rozměrově blízké hotové součásti a zápustky jsou vyrobeny bez výronkové drážky. V porovnání s konvenčním zápustkovým kovááním se výkovky vyznačují menšími přídávky na obrábění, menšími technologickými přídávky, vyšší tvarovou a rozměrovou přesností s malými úchytkami tvaru a rozměrů. Při použití této technologie se ušetří 20 až 40 % materiálu.

Jsou třeba určit předpoklady, které jsou nezbytné z hlediska úspěšnosti této metody. Analyzují se přesnosti kovacího nástroje, přesnost výchozího polotovaru, tvářecí teploty tvářecího zařízení a teploty tvářecího nástroje.

Přesnost výkovku se projeví na vyšších nárocích na přesnosti kovacího nástroje. Tolerance nástroje jsou tři až desetkrát menší, než tolerance požadovaná u výkovku. Což pro malé výkovky se stupněm přesnosti IT7 až IT9 představuje velmi vysoké nároky na přesnost výroby nástroje. Nástroje pro přesné kování tvarově složitých výkovků jsou složeny z mnoha dílů se vzájemným pohybem. Pohyby některých dílů nástrojů mohou být ovládány pružinami, pákovými nebo klínovými mechanismy. To klade vysoké nároky na přesnost výroby jednotlivých částí, přesnost seřízení nástroje, nastavení a dimenzování dílčích částí.

Při určování rozměrů dutiny zápustky je třeba respektovat podmínky kování, a to tepelnou dilataci výkovku, nástroje, změny rozměrů dutiny v důsledku opotřebení a přesnost a odpružení kovacího stroje.

Objemová přesnost výchozího polotovaru se při přesném kování požaduje s úchylkou objemu maximálně $\pm 0,5$ až ± 1 %. Výchozím polotovarem bývá nejčastěji špalík z kruhové tyče. Válcované tyče s průměrem např. 30mm se zvýšeným stupněm přesnosti mají toleranci $\pm 0,5$ mm. Tažené a loupáné tyče jsou dodávány v mnohem přesnějších rozměrech s tolerancí h9, nevýhodou je vyšší cena tyče.

Dalším důležitým faktorem je přesnost dělení polotovaru. Nejvýhodnější způsob dělení materiálu je stříhání, ale kvalita stříhané plochy a tolerance délky ústřížku nevyhovuje požadavkům přesného kování. Stříhání lze použít jen za předpokladu, kdy se stříhá ve speciálním uzavřeném střižném nástroji, kde střižné nože mají tvar, trubek obepínající celý obvod stříhané tyče. Takto stříhané ústřížky mají objemovou toleranci $\pm 0,3$ až $\pm 0,8$ %.

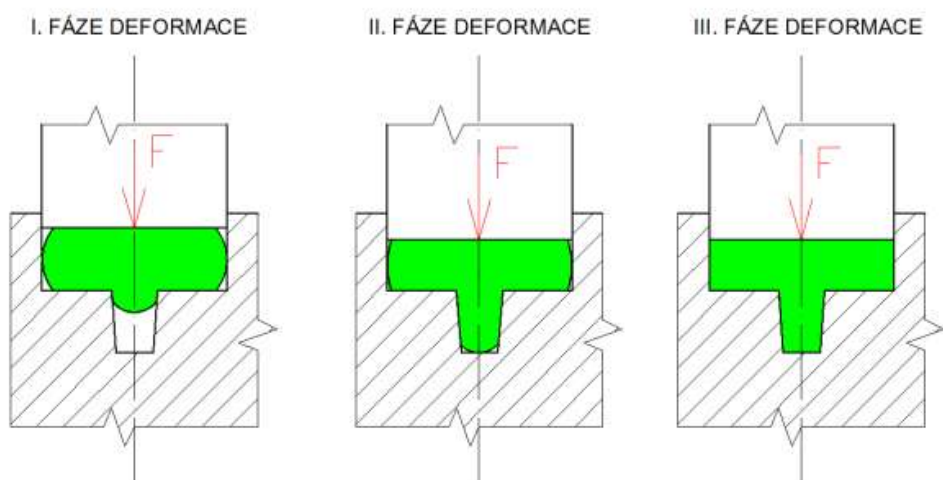
Další podmínkou pro úspěšné přesné kování jsou tribologické podmínky, neboli použití vhodného maziva, které je automaticky nanášeno. Množství a kvalita nanesení ovlivňuje velikost tření a teplotu nástroje. Mazivo se volí podle podmínek kovacího procesu, zejména podle měrných tvářecích tlaků a pracovních teplot. Mazivo musí vytvářet separační vrstvu mezi nástrojem a stříhaným polotovarem.

Při kování za nízkých teplot je mazivo vytlačováno z kontaktní plochy v důsledku vysokých měrných tlaků. Používají se maziva fosfátovací, kdy vrstva vzniká na povrchu mořeného polotovaru. Tato vrstva je pevně spojena s kovovým povrchem. Před fosfátováním povrchu je nutné tento povrch zbavit nečistot, mastnoty, oxidů a okují.

Mazivo, které se používá při kování za tepla, je připravené z grafitu a vhodné olejové suspenze.

Přesné kování v uzavřené zápustce je používáno hlavně pro zhotovování jednodušších přesných výkovků, pod kterými si lze představit převážně rotační tvary, za kovací teplot. Je zde zapotřebí určitého minimálního přebytku pro dokování tvaru výkovku. U tohoto typu kování vzniká ve fázi, kdy je zápustka téměř zaplněná, velká kovací síla, která rychle roste. Tím může dojít, i při menším zvětšení objemu polotovaru, k destrukci nástroje a dále k možnému přetížení stroje. V uzavřené zápustce se mohou vyrábět výkovky s válcovou anebo kuželovou boční plochou. Čelo razníku by mělo být, v uzavřené zápustce, kolmé směrem k vertikální ose výkovku.

U kování přesných výkovků v uzavřeném nástroji (obr. 36) se v oblasti deformace rozložení napětí, které je závislé na poměru výšky těla výkovku k průměru těla výkovku. Na tomto poměru je závislá i velikost tření. Kování s uzavřeným nástrojem lze rozdělit do tří deformačních etap. V první etapě deformace je nástroj otevřený a výchozí polotovar je volně přechován. Zde už dochází k vytlačování materiálu do výstupku a první etapa končí v okamžiku dotyku bočních stěn přechovaného materiálu se stěnami dutiny nástroje. U druhé etapy deformace dochází k vytlačování materiálu z uzavřeného nástroje a tato etapa je



Obr. 36 Fáze deformace v uzavřené zápustce [9]

ukončena v okamžiku, kdy dojde k dotyku čela vytlačovaného materiálu se dnem výstupku. Ve třetí a zároveň v poslední etapě deformace dochází k zaplnění rohů dutin nástroje. Zjednodušení těchto tří fází deformace je zobrazeno na obr. 34.

3.2.8 DĚLENÍ MATERIÁLU [26] [27]

Dělení výchozího polotovaru, který je u metody tváření dodáván v různých typech, jako např. svitky, tabule, kruhové, obdélníkové nebo čtvercové tyče se dělí na přesný předepsaný rozměr. Volba typu dělení materiálu přispívá ke kvalitě výrobku tím způsobem, jakou bude mít kvalitu plocha v místě odstřižení. Mezi typy dělení materiálu jsou řazeny:

- Dělení lámáním – v místě, kde má dojít k ulomení, se materiál nahřívá a tím se vytváří vrub, který má za následek zmenšení plochy průřezu. Lámaný materiál musí mít mez pevnosti větší než 600MPa, aby nedošlo pouze k ohnutí polotovaru. Nevýhodou tohoto způsobu je nízká kvalita odstřižené plochy, možnost vzniku trhlin a jejich šíření dále do odstřížku.
- Dělení sekáním – tato metoda se používá jen zřídka a hlavně u volného kování. Nástroj, který rozděluje materiál, se nazývá sekáč a je možné ho využívat ručně nebo pomocí stroje. Nevýhodou je nízká produktivita a nerovná plocha vzniklá záseky.
- Dělení stříháním – metoda stříháním je nejrozšířenějším typem dělení materiálu. Lze ji také použít pro vystřihování a děrování součástek z plechu nebo pro dokončovací operace. Stříhat materiál se může jak za studena, tak za tepla. Za studena se stříhá materiál, který je nízkouhlíkový a nízkolegovaný s mezí pevnosti do 400MPa. Tvrdší materiály je nutné, před odstřižením, zahřát na teplotu zhruba 700°C. Výhoda této metody je, že lze stříhat v podélném nebo příčném směru a při stříhání za tepla, je možné dělit kruhovou tyč o průměru až 250mm.
- Dělení řezáním – pokud je materiál dělen metodou řezání, je použito kotoučových (obr. 37), rámových nebo pásových pil. Do výhod této metody patří, že zajistí hladký řez, kolmost k podélné ose polotovaru a přesná hmotnost řezaného polotovaru. Nevýhodou je velká spotřeba řezných nástrojů, ztráta materiálu ve formě třísek a nelze ji použít pro řezání tvrdých materiálů.
- Dělení upichováním – tento druh dělení je využíván zřídka, kvůli drahému provozu. Další nevýhodou jsou velké ztráty vzniklé při dělení. Výhodou je ovšem to, že se vytvoří velmi kvalitní plocha polotovaru.



Obr. 37 Dělení materiálu kotoučovou pilou [16]

4 TECHNOLOGIE VÝROBY PRAŽCOVÉHO ŠROUBU

Cílem této kapitoly je stanovit technologický postup výroby pražcového šroubu. Dělený polotovár je na jednom konci ohřát a v tomto ohřátém konci je napěchována hlava šroubu. Po napěchování se ohřeje druhý konec polotovaru, na kterém je následně vyválcován závit šroubu. Nakonec je šroub galvanicky zinkován, aby získal větší odolnost proti korozi.

Nejdříve se určí složitost tvaru výkovku dle normy ČSN 42 9002. Dále se stanoví rozměry a hmotnost výchozího polotovaru, na základě vypočítaného objemu vrtule. Stanovení délky polotovaru je nezbytné pro stříhání materiálu z tyče. Kromě toho se deformační odpor a síla u pěchování hlavy šroubu, které probíhá za tepla. V dalším etapě výroby se ohřeje druhý konec polotovaru, na kterém se následně válcuje závit. Dále se navlékne podložka a provede se její zajištění. Nakonec je šroub galvanicky zinkován.

- **Určení složitosti tvaru výkovku**

Složitost výkovku pražcového šroubu se určí dle normy ČSN 42 9002. Složitost výkovku se označuje pětímístným číslem ve tvaru xxxx – x. význam jednotlivých čísel je vysvětlen v kapitole 3.2.3

5 – výkovky kruhového průřezu plné

9 – členité

1 – převážně s kruhovým průřezem

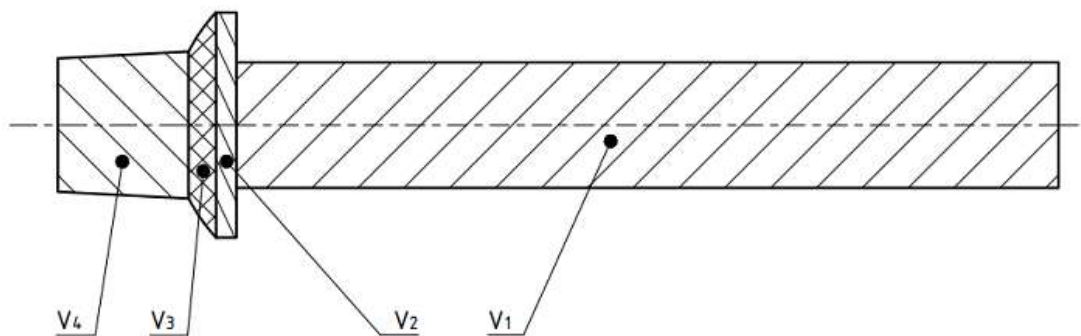
3 – výkovky plné

6 – výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech souměrné

Výsledné označení výkovku dle již zmíněné normy je 5913 – 6

- **Stanovení objemu polotovaru**

Tvar hotové součásti je rozdělen na jednotlivé části (obr. 38). Tvar závitu není naznačen z důvodu, že se jedná o přesné kování a ztráty při ohřevu budou jen minimální. Objem vrtule se stanoví dle vzorců:



Obr. 38 Rozdělení součásti na jednotlivé části

Celkový objem se určí jako:

$$V_C = \sum_{i=1}^4 V_i \quad (4.1)$$

kde: V_C – celkový objem součásti [mm^3]

Obecný vztah pro výpočet objemu válce (V_1, V_2):

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot l}{4} \quad (4.2)$$

kde: D – průměr válce [mm]

l – délka válce [mm]

Obecný vztah pro výpočet objemu rotačního komolého kužele (V_3):

$$V = \frac{\pi \cdot v}{3} \cdot (r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2) \quad (4.3)$$

kde: v – výška komolého kužele [mm]

r_1 – poloměr větší podstavy [mm]

r_2 – poloměr menší podstavy [mm]

Obecný vztah pro výpočet objemu komolého jehlanu (V_4):

$$V = \frac{v_j}{3} \cdot (a_1 \cdot b_1 + \sqrt{a_1 \cdot b_1 \cdot a_2 \cdot b_2} + a_2 \cdot b_2) \quad (4.4)$$

kde: v_j – výška komolého jehlanu [mm]

a_1 – kratší délka delší hrany [mm]

b_1 – delší délka delší hrany [mm]

a_2 – kratší délka kratší hrany [mm]

b_2 – delší délka kratší hrany [mm]

Objem válce V_1 podle vztahu (4.2):

$$V_1 = \frac{\pi \cdot 24,5^2 \cdot 161}{4} = 75\,901,01 \text{ mm}^3$$

Objem válce V_2 podle vztahu (4.2):

$$V_2 = \frac{\pi \cdot 44^2 \cdot 4}{4} = 6\,082,12 \text{ mm}^3$$

Objem rotačního komolého kužele V_3 podle vztahu (4.3):

$$V_3 = \frac{\pi \cdot 5,37}{3} \cdot (22^2 + 22 \cdot 14 + 14^2) = 5\,555,97 \text{ mm}^3$$

Objem komolého jehlanu V_4 podle vztahu (4.4):

$$V_4 = \frac{25,63}{3} \cdot (19 \cdot 26 + \sqrt{19 \cdot 26 \cdot 21 \cdot 28} + 21 \cdot 28) = 13\,848,36 \text{ mm}^3$$

Celkový objem součástí podle vztahu (4.1):

$$V_C = 75\,901,01 + 6\,082,12 + 5\,555,97 + 13\,848,36 = 101\,387,55 \text{ mm}^3$$

Při použití programu Autodesk Inventor 2014, kde se součást vymodelovala, bylo zjištěno, že skutečný objem vrtule je roven $102\,043,95\text{mm}^3$. Tato hodnota je přesnější a z tohoto důvodu s ní bude dále počítáno $\Rightarrow V_C = 102\,043,95\text{mm}^3$.

Po stanovení objemu hotové součásti se stanoví objem výchozího polotovaru. Ten získáme ze dvou hodnot a to jak z hodnoty objemu součásti, tak z hodnoty objemu opalu, který je stanoven na 10 % objemu vrtule. Objem polotovaru se stanoví ze vztahu (3.2):

$$V_o = (0,005 \text{ až } 0,01) \cdot V_c = 0,01 \cdot 102\,043,95 = 10\,204,4 \text{ mm}^3$$

$$V_{pol} = V_C + V_o = 102\,043,95 + 10\,204,4 = 112\,248,35 \text{ mm}^3$$

- Určení délky a hmotnosti polotovaru**

Pro stanovení stříhané délky polotovaru a jeho hmotnosti se vychází ze vztahů:

$$L_{pol} = \frac{4 \cdot V_{pol}}{\pi \cdot D_{pol}^2} \quad (4.1)$$

kde: L_{pol} – délka polotovaru [mm]

$$L_{pol} = \frac{4 \cdot 103\,064,39}{\pi \cdot 24,5^2} = 218,6\text{mm}$$

Délka polotovaru vrtule vyšla 218,6mm, s ohledem na přesnost dělení materiálu je délka výchozího polotovaru L_{pol} zaokrouhlena na 220mm.

$$m_{pol} = V_{pol} \cdot \rho \quad (4.2)$$

kde: m_{pol} – hmotnost polotovaru [Kg]

ρ – hustota nelegované oceli [$\text{Kg} \cdot \text{mm}^{-3}$]

$$m_{pol} = 103\,064,39 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 0,81\text{Kg}$$

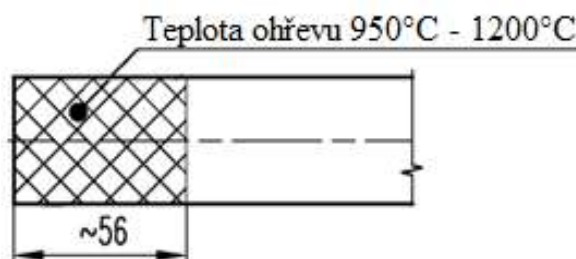
- Určení logaritmické deformace**

Pěchování hlavy šrouby bude probíhat na dvě operace. V první operaci (obr. 39) se dosáhne přibližného tvaru hlavy šrouby. Ve druhé operaci (obr. 40) se získá požadovaný tvar hlavy (obr. 41). Aby se předešlo vzniku přeložky při pěchování, je nutné provést kontrolu pěchované výšky (3.4):

$$H_{\text{OMAX}} = 3 \cdot D_0 = 3 \cdot 24,5 = 73,5\text{mm}$$

Maximální pěchovaná výška polotovaru o průměru 24,5mm je 73,5mm. Pro polotovar o výšce 220mm stejného průměru bude třeba použít pěchování v uzavřeném nástroji.

Počáteční pěchovací výška je stanovena na 56mm. Velikosti skutečné (logaritmické) deformace v jednotlivých operacích se stanoví



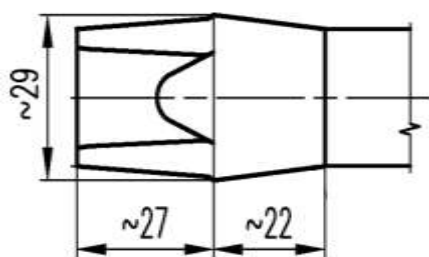
Obr. 39 Pěchovaná výška v 1. operaci

podle vztahu (3.2):

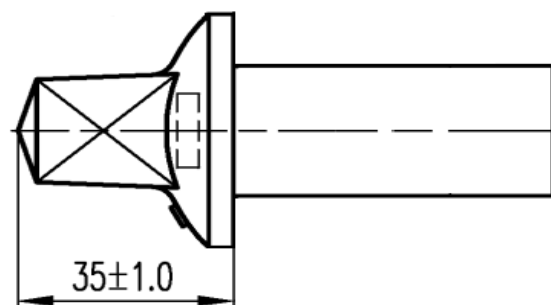
$$\varphi_1 = \ln\left(\frac{H_1}{H_0}\right) = \ln\left(\frac{49}{56}\right) = -0,134$$

$$\varphi_2 = \ln\left(\frac{H_2}{H_1}\right) = \ln\left(\frac{35}{49}\right) = -0,337$$

$$\varphi_{HLAVY} = |\varphi_1| + |\varphi_2| = 0,134 + 0,337 = 0,471$$



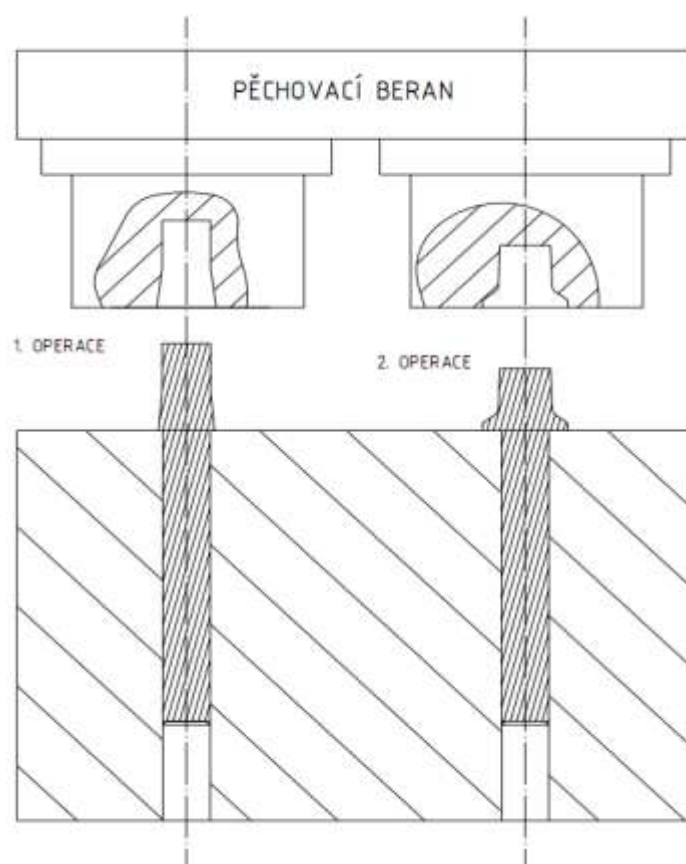
Obr. 40 Pěchovaná výška ve 2. operaci



Obr. 41 Napěchovaná hlava šroubu

- **Určení deformačního odporu a pěchovací síly**

Určení deformačního odporu a síly při pěchování hlavy šroubu se stanoví pro první a druhou operaci z následujících vztahů. Pro σ_p byla zvolena hodnota 36 MPa při teplotě 1100°C z tab. 5.



Obr. 42 Průběh výroby tvaru hlavy šroubu

$$\sigma_{D1} = \sigma_P \cdot \left(1 + \frac{\mu \cdot D_0}{3 \cdot H_0}\right) = 36 \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot 24,5}{3 \cdot 56}\right) = 38,63 \text{ MPa}$$

$$F_1 = \sigma_D \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 38,63 \cdot \frac{\pi \cdot 24,5^2}{4} = 18\,209,2 \text{ N} \doteq 18,21 \text{ kN}$$

$$\sigma_{D2} = \sigma_P \cdot \left(1 + \frac{\mu \cdot D_1}{3 \cdot H_1}\right) = 36 \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot 29}{3 \cdot 49}\right) = 39,55 \text{ MPa}$$

$$F_2 = \sigma_D \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} = 39,55 \cdot \frac{\pi \cdot 29^2}{4} = 26\,123,6 \text{ N} \doteq 26,13 \text{ kN}$$

• Dělení polotovaru

Materiál je do firmy dodáván jako kruhová tyč či drát o průměru Ø24,5mm v délce 6 metrů. Tyč je rozdělena na špalíky o délce 220mm. Dělení je prováděno metodou stříháním z příčiny minimálního odpadu. Velikost síly pro rozdělení tyče se stanoví dle vztahu:

$$F_S = (1,2 \div 1,4) \cdot S_{POL} \cdot 0,8 \cdot R_m \quad (5.1)$$

kde: F_S – střižná síla [N]

S_{POL} – plocha stříhaného polotovaru [mm^2]

$$F_S = 1,25 \cdot 471,44 \cdot 0,8 \cdot 630 = 297\,004 \text{ N} = 297 \text{ kN}$$

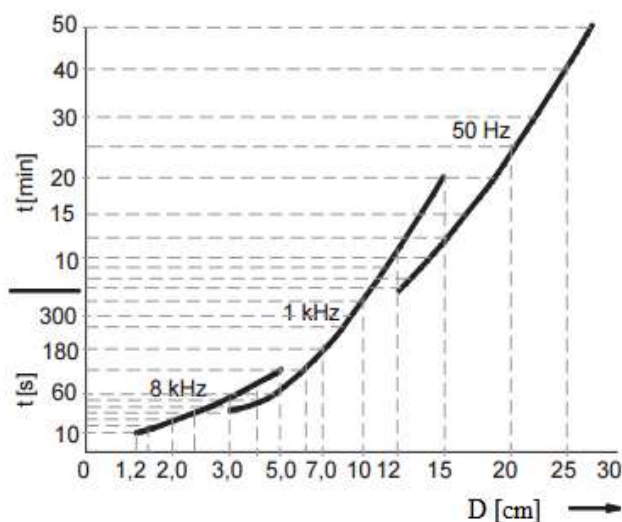
• Ohřev polotovaru

Pro zahřátí polotovaru šroubu je použita středofrekvenční ohřívačka. Tento druh ohřevu je rychlý, bezokujový a vhodný pro kruhové profily. Zejména se využívá pro ohřevy stejných kusů v hromadné výrobě.

Po průchodu ohřívačkou je polotovar zahřát na teplotu 1100°C – 1200°C. Následně je poslán do podávacího zařízení lisu pro přechování hlavy vrtule, nebo pokud již je hlava napěchována, tak do podávacího zařízení

válcovačky. Pokud není polotovar dostatečně zahřát, je poslán do přepravní palety, kde se po vychlazení vrací zpět do ohřívačky.

Z diagramu (Obr. 42) jsou znázorněny křivky, ze kterých je možné stanovit dobu potřebnou pro ohřátí polotovaru různých průměrů.



Obr. 43 diagram pro určení doby ohřevu v indukční peci [33]

- **Válcování závitu**

Válcování závitů probíhá na tří-kotoučové válcovačce, které spolu s vyklápěcím zařízením, dopravníkem, ohřívačkou a vynášecím dopravníkem hotových součástí tvoří samostatnou automatickou linku. Vynášecí dopravník dopravuje polotovary vrtule s již napěchovanými hlavami pomocí oddělovače do ohřívačky.

Po průchodu ohřívačkou jsou polotovary zahřáté na teplotu 1100°C – 1200°C a sráženy na skluz, který tyto ohřáté polotovary třídí podle dosažené teploty. Pokud některý z polotovarů nedosáhl na požadovanou teplotu je poslán do přepravní palety, kde se po vychladnutí vrací zpět do oběhu.

Ty polotovary, které dosáhly požadované teploty, jsou podávacím zařízením dopravovány mezi kotouče válcovačky, kde je válcován závit. Kotouče jsou vzájemně přesazeny o třetinu stoupání závitu, jejichž osy jsou vzájemně mimoběžné. Všechny tři kotouče mají na svém profilu vytvořený negativní profil závitu. Při válcování se vzájemná poloha kotoučů nemění. Válcovaný polotovar je vtahován mezi tyto tři kotouče a po vyválcování je hotový výrobek vynášecím dopravníkem dopravován do přepravní palety.

- **Dokončení**

Po dokončení závitu a vychladnutím je vrtule povrchově upravována galvanickým zinkováním pro lepší odolnost proti korozi. Před samotným nanesením povlaku je nutné povrch šroubu odmastit a očistit od nečistot, vzniklých během výroby. Po odstranění nežádoucích elementů se šroub ponoří do lázně, kde probíhá proces povlakování zinkové vrstvy.

Nakonec se na šroub navlékne podložka, které se zajistí. Oba procesy jsou automatizované. Zajištění podložky je provedeno dvěma vřepy do horní části dráku vrtule speciálním strojem.

- **Stanovení strojů pro výrobu vrtule**

Pro dělení materiálu byl zvolen ostříhovací lis typu LKOA 200 firmy ŠMERAL BRNO a.s. Jmenovitá síla tohoto lisu je 2000 kN což je dostatečné pro dělení materiálu Ø24,5mm.

Pro ohřívání polotvaru byl zvolen středofrekvenční ohřívač SOP 250/6 – A30 P/L, který je opatřen klešťovým vytahovačem a třídičkou ohřátých polotovarů, která nesprávně ohřáté (nedohřáté) polotovary nevpustí do lisu.

Pro přechování hlavy byl zvolen vodorovný kovací lis LKH 1200 S. Jeho maximální tvářecí síla je 12MN a maximální zdvih beranu je 500 mm.

Pro válcování závitů byla zvolena válcovačka typu UPW25 od výrobce Bad Duben, kde lze válcovat závit v rozmezí Ø10 – Ø100mm



Obr. 44 Ostříhovací lis LKOA 200 [17]



Obr. 45 Ohřívací zařízení SOP 250/6-A30 P/L [11]

5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole jsou porovnány náklady na výrobu součástí obráběním a tvářením. Pro každou technologii je stanovena spotřeba materiálu a cena pro vyrobení jednoho kusu a celé série. Dále je určena mzda pracovníka na jeden kus i celou sérii a množství odpadu z polotovaru. Nakonec jsou vypočteny dílenské a podnikové režie. Roční série výroby pražcového šroubu je 25 000 000 ks, v tabulce jsou uvedeny základní parametry:

Tab. 8 Základní parametry

PARAMETRY	ZNAČKA	HODNOTA	JEDNOTKA
Počet kusů	n	25 000 000	Ks
Hmotnost konečného výrobku	m_c	0,65	Kg
Cena 1kg oceli	C_m	15	Kč/kg
Cena metrové tyče	C_t	53	Kč/m
Výkupní cena šrotu	$C_{\text{š}}$	5	Kč/kg
Výkupní cena třískového odpadu	C_{tr}	4,5	Kč/kg

A) Výroba součástí tvářením

- Nejprve je vypočítána spotřeba materiálu, která se stanoví z počtu ústřížků jedné tyče, která má délku šesti metrů. Délka ústřížku je zároveň délkou polotovaru a má hodnotu 220mm. Rozměry polotovaru pro výrobu tvářením jsou Ø24,5x220mm. Z program Autodesk Inventor 2014 byla zjištěna hmotnost polotovaru, který činí 0,81kg.

Následně se vypočítá počet tyčí, které jsou nezbytné pro výrobu celé série. Počet ústřížků z jedné tyče se vypočítá z následujícího vztahu:

$$n_{\text{ú}} = \frac{l_{\text{tyče}}}{l_{\text{polot}}} = \frac{6000}{220} = 27,27 \text{ ks}$$

kde: $n_{\text{ú}}$ – počet ústřížků [ks]
 $l_{\text{tyče}}$ – délka tyče [ks]
 l_{polot} – délka polotovaru [ks]

Počet kusů ústřížků je nutné zaokrouhlit na nejbližší nižší celé číslo, v našem případě na 27 ks. Z následujícího vztahu se stanoví celkový počet šestimetrových tyčí, potřebných pro výrobu celé série:

$$n_t = \frac{n}{n_{\text{ú}}} = \frac{25\,000\,000}{27} = 892\,857,14 \text{ ks}$$

kde: n_t – počet tyčí [ks]

Vypočítanou hodnotu je nutné zaokrouhli na nejbližší vyšší celé číslo, v našem případě na číslo 892 858 ks.

- Nyní se podle následujících vztahů vypočítají náklady na výrobu jednoho kusu a celé série:

$$N_{m1} = C_m \cdot m_p = 15 \cdot 0,81 = 12,15 \text{ Kč}$$

kde: N_{m1} – náklady na jeden kus [Kč]

Celkové náklady na materiál pro celou sérii:

$$N_m = N_{m1} \cdot n = 12,15 \cdot 25\,000\,000 = 303\,750\,000 \text{ Kč}$$

kde: N_m – celkové náklady na materiál pro danou sérii [Kč]

- Dále se vypočítá mzda dělníků na výrobu jednoho kusu a mzda na celou sérii. Výrobní čas vyrobení jednoho kusu vrtule je 0,6 minut a hodinová mzda pracovníků 110Kč/hod. Hodnota mezd se stanoví podle vztahů:

$$M_{V1} = \left(\frac{t_k}{60}\right) \cdot m_v = \left(\frac{0,6}{60}\right) \cdot 110 = 1,1 \text{ Kč}$$

kde: M_{V1} – mzda výrobních dělníků na jeden kus [Kč]

t_k – výrobní čas jedné součásti [min]

m_v – hodinová mzda pracovníků [Kč]

Celkové mzdy:

$$M_V = M_{V1} \cdot n = 1,1 \cdot 25\,000\,000 = 27\,500\,000 \text{ Kč}$$

kde: M_V – mzda výrobních dělníků na celou sérii [Kč]

- Důležitým faktorem je také stanovení ceny odpadu materiálu (šrotu), který může při velké sérii výroby významně přispět do rozpočtu firmy. Cenu šrotu se stanoví tak, že se vypočítá odpad z jednoho kusu výrobku, dále se vypočítá hmotnost odpadu pro celou sérii. Podle výkupní ceny šrotu se stanoví cena prodaného materiálu. Tyto hodnoty se určí z následujících vztahů:

Odpad z jednoho kusu polotovaru:

$$m_{O1} = m_p - m_c = 0,81 - 0,65 = 0,16 \text{ Kg}$$

kde: m_{O1} – hmotnost odpadu z jednoho kusu [Kg]

Hmotnost celkového odpadu:

$$m_O = m_{O1} \cdot n = 0,16 \cdot 25\,000\,000 = 4\,000\,000 \text{ Kg}$$

kde: m_O – hmotnost celkového odpadu materiálu [Kg]

Cena odpadu pro celou sérii:

$$C_O = m_O \cdot C_{\S} = 4\,000\,000 \cdot 5 = 20\,000\,000 \text{ Kč}$$

kde: C_O – cena šrotu celé série [Kč]

- Nakonec jsou určeny dílenské a podnikové režie. Dílenská rezie je stanovena na 15 % z hodnoty mezd výrobních dělníků, podniková rezie je stanovena na 120 % z hodnoty mezd výrobních dělníků. Tyto režie se vypočítají podle vztahů:

$$M_{DR} = \left(\frac{15}{100}\right) \cdot M_V = \left(\frac{15}{100}\right) \cdot 27\,500\,000 = 4\,125\,000 \text{ Kč}$$

kde: M_{DR} – hodnota dílenské rezie [Kč]

Podniková rezie:

$$M_{PR} = \left(\frac{120}{100}\right) \cdot M_V = \left(\frac{120}{100}\right) \cdot 27\,500\,000 = 33\,000\,000 \text{ Kč}$$

kde: M_{PR} – hodnota podnikové rezie [Kč]

B) Výroba součástí obráběním

- Postup bude obdobný jako u výroby součástí tvářením. Rozdíly budou ve velikosti polotovaru, který bude mít velikost Ø45x200mm a v hmotnosti, která bude činit 2,5Kg.

Počet ústřížků z jedné tyče:

$$n_{\dot{u}} = \frac{l_{tyče}}{l_{polot}} = \frac{6000}{200} = 30 \text{ ks}$$

Celkový počet šestimetrových tyčí, potřebných pro výrobu celé série:

$$n_t = \frac{n}{n_{\dot{u}}} = \frac{25\,000\,000}{30} = 833\,333\,333,33 \doteq 833\,333\,334 \text{ ks}$$

- Náklady na výrobu jednoho kusu a celé série:

$$N_{m1} = C_m \cdot m_p = 15 \cdot 2,5 = 37,5 \text{ Kč}$$

$$N_m = N_{m1} \cdot n = 37,5 \cdot 25\,000\,000 = 937\,500\,000 \text{ Kč}$$

- Náklady na mzdy dělníků na výrobu jednoho kusu a celé série. Výrobní čas jedné součásti je 15 minut a hodinová mzda pracovníků zůstává 110Kč/hod. Hodnota mezd se stanoví podle vztahů:

$$M_{V1} = \left(\frac{t_k}{60}\right) \cdot m_v = \left(\frac{6}{60}\right) \cdot 110 = 11 \text{ Kč}$$

$$M_V = M_{V1} \cdot n = 11 \cdot 25\,000\,000 = 275\,000\,000 \text{ Kč}$$

- Stanovení ceny odpadu materiálu (šrotu), který bude představovat odpad ve formě třísek. Cena šrotu pro celou sérii se stanoví ze vztahů:

$$m_{01} = m_p - m_c = 2,5 - 0,65 = 1,85 \text{ Kg}$$

$$m_0 = m_{01} \cdot n = 1,85 \cdot 25\,000\,000 = 46\,250\,000 \text{ Kg}$$

$$C_0 = m_0 \cdot C_s = 46\,250\,000 \cdot 4,5 = 208\,125\,000 \text{ Kč}$$

- Nakonec jsou určeny dílenské a podnikové režie, které mají stejnou hodnotu jako u tváření. Tyto režie se určí podle vztahů:

$$M_{DR} = \left(\frac{15}{100}\right) \cdot M_V = \left(\frac{15}{100}\right) \cdot 275\,000\,000 = 41\,250\,000 \text{ Kč}$$

$$M_{PR} = \left(\frac{120}{100}\right) \cdot M_V = \left(\frac{120}{100}\right) \cdot 275\,000\,000 = 330\,000\,000 \text{ Kč}$$

Tab. 9 Porovnání technicko – ekonomických ukazatelů

TECHNOLOGIE	TVÁŘENÍ	OBRÁBĚNÍ
Počet kusů	25 000 000 Ks	
Náklady na 1 Ks	1,1 Kč	11 Kč
Hmotnost odpadu 1 Ks	0,16 Kg	1,85 Kg
Pracnost 1 Ks	0,6 min	6 min

Tab. 10 Porovnání nákladů v Kč

	TECHNOLOGIE		ÚSPORA NÁKLADŮ TVÁŘENÍM OPROTI OBRÁBĚNÍ
	TVÁŘENÍ	OBRÁBĚNÍ	
Cena materiálu	330 750 000	937 500 000	606 750 000
Mzdy výrobních dělníků	27 500 000	275 000 000	247 500 000
Vratný odpad	20 000 000	46 250 000	26 250 000
Dílenská režie	4 125 000	41 250 000	37 125 00
Podniková režie	33 000 000	330 000 000	297 000 000
Celkové náklady	415 375 000	1 630 000 000	1 214 625 000
Celkové náklady na 1 Ks	16,6	65,2	48,6

Po porovnání nákladů, pro výrobu pražcového šroubu, oběma možnými technologiemi vychází jednoznačně lépe technologie tváření. Po součtu všech nákladů je rozdíl na jednom kusu 48,6 Kč a v celé sérii 1 214 625 000 Kč, což je velmi podstatný rozdíl.

6 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout technologický postup výroby pražcového šroubu. Na základě výrobní série, která činila 25mil ks/rok, a také na požadovaných mechanických vlastnostech, byla vybrána technologie objemového tváření za tepla, pro kterou byla zpracována literární studie. Technologický postup byl zaměřen na metody petchování a válcování.

Vrtule bude vyráběna z konstrukční nelegované oceli ČSN 11 503, která je dodávána ve formě kruhových tyčí o rozměrech Ø24,5 – 6000 mm. Délka polotovaru, na kterou bude tyč dělena, byla stanovena na 220 mm. Polotovar bude ohříván indukčně, a to nejdříve na jednom konci pro vytvoření hlavy šroubu, který se zhotoví metodou petchování a následně se ohřeje na druhém konci pro vytvoření závitu. Po dokončení výroby šroubu bude následovat povrchová úprava ve formě galvanického zinkování pro zvýšení odolnosti proti korozi.

Z technicko – ekonomického hlediska se zjistilo, že obrábění je nevhodné z důvodu velkých materiálových ztrát a z delšího času potřebného pro vyrobení jednoho kusu.

Souhrnně se dá říci, že výroba vrtule při použití technologie objemového tváření je téměř 4x levnější než při zvolení technologie obrábění.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- 1 BUCCHAR. 2015. *Výrobek buchar* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/VyrobekTvarBuch03-660.jpg>
- 2 DVOŘÁK, Milan. 2004. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
- 3 DVOŘÁK, Milan. 2013. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 169 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 978-80-214-4747-9.
- 4 FOREJT, Milan. 2004. *Teorie tváření*. 1. vyd. Brno: CERM, 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
- 5 HOT ROLLING. 2012. *Technical possibilities* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: http://www.bonpertuis-steel.com/sites/default/files/pictures/laminage_chaud_kieffer640_0.jpg
- 6 HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. 2002. *Strojírenská technologie I*. 3., přeprac. vyd. Praha: Scientia, 266 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
- 7 INDUKČNÍ OHŘEV. 2009. *Ohřívací zařízení* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: http://www.polyplus.fr/bibliotheque/Chauffe_induction/IMG_1574.JPG
- 8 KOVACÍ LIS. 2015. *Tvar kovací lis* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/VyrobekTvarKov03-660.jpg>
- 9 LIDMILA, Zdeněk. 2008. *Teorie a technologie tváření II*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 106 s. ISBN 978-80-7231-580-2.
- 10 MICHNA, Štefan a Nataša NÁPRSTKOVÁ. 2012. *Tváření*. 1. vyd. V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 223 s. ISBN 978-80-7414-445-5.
- 11 OHŘÍVACÍ ZAŘÍZENÍ. 2012. *Středofrekvenční ohříváč SOP 250/6-A30 P/L* [online]. [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.roboterm.cz/reference/indukcni-ohrivace/sop-do-630-kw/sop-250-6->
- 12 PODÉLNÉ VÁLCOVÁNÍ. 2004. *Válcování* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.kdkforging.com/images/Machined-Socket-1.jpg>
- 13 POROVNÁNÍ KONSTRUKČNÍCH OCELÍ. 2011. *Charakteristika a vlastnosti* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/HM%20nove/Porovnani_konstrukcnich_oceli.pdf
- 14 ROZVÁLCOVÁNÍ KROUŽKŮ. 2015. *Tváření za tepla* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.mcinnescrolledrings.com/default/cache/file/89A66B99-7740-4DBD-A79C57543DF43EBA.jpg>

- 15 RUČNÍ KOVÁNÍ. 2011. *Pickywallpapers* [online]. [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://wallpaper.pickywallpapers.com/1920x1080/smith-s-authentic-hammer.jpg>
- 16 SPRÁVNÁ VOLBA DĚLÍČÍHO NÁSTROJE. 2011. *Mmspektrum* [online]. (11) [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/content/image/gallery/2011-11_4_1321452306/bomar_obr_02.jpg
- 17 Šmeral Brno a.s. Ostřihovací lisy. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/CZTvarOst.html>.
- 18 Šmeral Brno a.s. Svislé kovací lisy. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/CZTvarKov.html>.
- 19 ŠROUBÁRNA KYJOV. 2006. *Profil společnosti* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.sroubk.cz/cs/o-firme-sroubarna-kyjov-srouby-matice-vykovky/profil-spolecnosti/>
- 20 ŠROUBÁRNA KYJOV. 2006. *Pražcové šrouby* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.sroubk.cz/UserFiles/Image/Vyrobky/Kyjov/prazcove-srouby.jpg>
- 21 ŠROUBÁRNA KYJOV. 2006. *Ostatní železniční šrouby* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.sroubk.cz/UserFiles/Image/Vyrobky/Kyjov/ostatni-zeleznicni-srouby.jpg>
- 22 TECHNICKÁ PODPORA. 2011. *Přehled vlastností oceli* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-vlastnosti-oceli-s355j2drive-s355j2g3>
- 23 TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠIACICH. LISY: Študijný materiál. Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/kvtar/1/files/09_Lisy.pdf
- 24 TECHNOLOGIE. 2013. *Obrábění* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.sst1.estranky.cz/clanky/soustruzeni.html>
- 25 Technologie objemového tváření. 2003. *Válcování* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/02.htm
- 26 Technologie objemového tváření. 2003. *Kování* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm
- 27 Technologie objemového tváření za tepla. 2006. *Kování* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/kapitola_2.htm
- 28 Technologie tváření. 2003. *Dělení polotovarů* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm

- 29 UPEVNĚNÍ PRAŽCE. 2006. *Železnice* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.k-report.net/koridory/images/skl12>
- 30 VOZOVÁ PEC. 2006. *Ethermtz* [online]. [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://emss.dn.ua/images/production/kpc1/1.jpg>
- 31 VŘETENOVÝ LIS. 2012. *Zdas* [online]. [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: http://www.zdas.cz/cs/user_img/7/19/88/miniatury/0_lve1.jpg
- 32 VÝKOVEK. 2007. *Kdkforging* [online]. [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.kdkforging.com/images/Machined-Socket-1.jpg>
- 33 VÝROBA OPĚRNÉHO DRŽÁKU OBJEMOVÝMK TVÁŘENÍM. 2008. Brno. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5837. Diplomová práce.
- 34 VÝROBA TRUBEK. 2010. *Kosé válcování za tepla* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: http://medenerozvody.cz/sites/default/files/styles/content_50_width/public/thumbnails/image/rezcsoszereles_ferdehenger.jpg?itok=lwwEOg5S

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Zkratka/symbol	Jednotka	Definice
a	[mm]	Délka rotačního otvoru uzavřeného pēchovacího nástroje
a ₁	[mm]	Kratší délka delší hrany
a ₂	[mm]	Kratší délka kratší hrany
A	[%]	Tažnost
A ₁	[°C]	Eutektoidní teplota
A ₃	[°C]	Překrystalizační teplota
A _{CM}	[°C]	Segregační teplota
b ₀	[mm]	Šířka polotovaru před válcováním
b ₁	[mm]	Šířka polotovaru po válcování
b ₂	[mm]	Delší délka delší hrany
b ₃	[mm]	Delší délka kratší hrany
c	[mm]	Délka kuželového otvoru uzavřeného pēchovacího nástroje
C _m	[Kč/kg]	Cena 1kg oceli
C _{MAX}	[%]	Obsah uhlíku
C ₀	[Kč]	Cena šrotu celé série
C _š	[Kč/kg]	Výkupní cena šrotu
C _t	[Kč/m]	Cena metrové tyče
C _{tř}	[Kč/kg]	Výkupní cena třískového odpadu
D	[mm]	Průměr válce
D _O	[mm]	Průměr polotovaru
DTT	[°C]	Dolní tvářecí teplota
F	[N]	Pēchovací síla
F ₁	[N]	Pēchovací síla 1. operace
F ₂	[N]	Pēchovací síla 2. operace
F _s	[N]	Střižná síla
h ₀	[mm]	Výška polotovaru před válcováním
h ₁	[mm]	Výška polotovaru po válcování
H	[mm]	Konečná výška
H _O	[mm]	Počáteční výška
H _{OMAX}	[mm]	Maximální pēchovaná výška
H ₁	[mm]	Výška hlavy po 1. předpēchu
H ₂	[mm]	Konečná výška hlavy
HTT	[°C]	Horní tvářecí teplota
l	[mm]	Délka válce
l ₀	[mm]	Délka polotovaru před válcováním
l ₁	[mm]	Délka polotovaru po válcování
L _O	[mm]	Délka polotovaru
L _{pol}	[mm]	Délka polotovaru
L _{tyče}	[mm]	Délka tyče
m _o	[Kg]	Hmotnost celkového odpadu materiálu
m ₀₁	[Kg]	Hmotnost odpadu z jednoho kusu
m _c	[Kg]	Hmotnost konečného výrobku
m _p	[Kg]	Hmotnost polotovaru

m_{pol}	[Kg]	Hmotnost polotovaru
m_v	[Kč]	Hodinová mzda pracovníků
M_{DR}	[Kč]	Hodnota dílenské režie
Mn_{MAX}	[%]	Obsah Manganu
M_{PR}	[Kč]	Hodnota podnikové režie
M_v	[Kč]	Mzda výrobních dělníků na celou sérii
M_{v1}	[Kč]	Mzda výrobních dělníků na jeden kus
n	[–]	Počet
n_t	[–]	Počet tyčí
$n_{\dot{u}}$	[–]	Počet ústřížků
N_m	[Kč]	Celkové náklady na materiál pro danou sérii
N_{m1}	[Kč]	Náklady na jeden kus
P_{MAX}	[%]	Obsah fosforu
r_1	[mm]	Poloměr větší podstavy
r_2	[mm]	Poloměr menší podstavy
R_{Eh}	[MPa]	Horní mez kluzu
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
S	[mm ²]	Plocha průřezu pēchovaného polotovaru
S_{MAX}	[%]	Obsah síry
S_{POL}	[mm ²]	Plocha stříhaného polotovaru
Si_{MAX}	[%]	Obsah křemíku
$\dot{S}K$	[–]	Zkratka firmy
v	[mm]	Výška komolého kužele
v_j	[mm]	Výška komolého jehlanu
V_c	[mm ³]	Objem colkový
V_o	[mm ³]	Objem materiálu spotřebovaný pro opal
V_{pol}	[mm ³]	Objem polotovaru
V_v	[mm ³]	Objem výkovku
V_{vd}	[mm ³]	Objem výronkové drážky
$V_{v\dot{y}r}$	[mm ³]	Objem materiálu spotřebovaného na výronek
t_k	[min]	Výrobní čas jedné součásti
α	[°]	Úhel kuželového otvoru v uzavřeném pēchovacím nástroji
μ	[–]	Součinitel kontaktního tření
π	[–]	Konstanta
ρ	[Kg·mm ⁻³]	Hustota
σ_d	[MPa]	Skutečný přetvárný odpor
σ_{d1}	[MPa]	Skutečný přetvárný odpor 1. operace
σ_{d2}	[MPa]	Skutečný přetvárný odpor 2. operace
σ_{dMAX}	[MPa]	Maximální přetvárný odpor
σ_p	[MPa]	Přirozený přetvárný odpor materiálu
σ_x	[MPa]	Napětí materiálu ve vzdálenosti x od osy polotovaru
φ	[–]	Logaritmické přetvoření
φ_1	[–]	Logaritmické přetvoření 1. operace
φ_2	[–]	Logaritmické přetvoření 2. operace
φ_{hlavy}	[–]	Logaritmické přetvoření hlavy

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Výkovky 9

Obr. 2 Upevnění pražce 10

Obr. 3 Pražcový šroub

Obr. 4 Logo společnosti 11

Obr. 5 Pražcové šrouby 11

Obr. 6 Ostatní železniční šrouby

Obr. 7 Obrábění 12

Obr. 8 Tváření 12

Obr. 9 Tváření za tepla 13

Obr. 10 Způsoby válcování, a) Podélné válcování, b) Příčné válcování, c) Kosé válcování 14

Obr. 11 Příčné klínové válcování 14

Obr. 12 Rozválcování kroužků 15

Obr. 13 Podélné válcování 15

Obr. 14 Kosé válcování 16

Obr. 15 Ruční kování 16

Obr. 16 Pěchování 17

Obr. 17 Vznik přeložky 18

Obr. 18 Přepěchování 18

Obr. 19 Přesazování 20

Obr. 20 Prodlužování 20

Obr. 21 Děrování 20

Obr. 22 Schéma zápustkového kování 21

Obr. 23 Třídění výkovků dle normy ČSN 42 9002 22

Obr. 24 Přídavky na výkovky 22

Obr. 25 Postupová zápustka 24

- Obr. 26 Upínání bucharové zápustky 25
- Obr. 27 Tvářecí teploty uhlíkové oceli 26
- Obr. 28 Vozová pec 27
- Obr. 29 Indukční ohřev 28
- Obr. 30 Principu přímého odporového ohřevu 28
- Obr. 31 Buchar 29
- Obr. 32 Svislý kovací lisy 30
- Obr. 33 Vodorovný kovací lisy 30
- Obr. 34 Vřetenový lis 31
- Obr. 35 Princip rotačního kování 32
- Obr. 36 Fáze deformace v uzavřené zápustce 33
- Obr. 37 Dělení materiálu kotoučovou pilou 34
- Obr. 38 Rozdělení součásti na jednotlivé části 35
- Obr. 39 Pěchovaná výška v 1. operaci 37
- Obr. 40 Pěchovaná výška v 2. Operaci 38
- Obr. 41 Napěchovaná hlava šroubu 38
- Obr. 42 Průběh výroby hlavy šroubu 38
- Obr. 43 Diagram pro určení doby ohřevu v indukční peci 39
- Obr. 44 Ostříhovací lis LKOA 200 40
- Obr. 45 Ohřívací zařízení SOP 250/6-A30 P/L 40