VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ÚPRAVA VÝSTŘEDNÍKOVÉ HŘÍDELE A OZUBENÉHO KOLA PRO SVISLÝ KOVACÍ LIS

MODIFYING OF THE ECCENTRIC SHAFT AND GEAR FOR VERTICAL FORGING PRESS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Bc. Adam Masařík**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **Ing. Milan Kalivoda**
SUPERVISOR

BRNO 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	**Bc. Adam Masařík**
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	**Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok:	2016/17

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

Úprava výstředníkové hřídele a ozubeného kola pro svislý kovací lis

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Realizace konstrukčního řešení na úpravu rozebíratelného spojení dvou strojních součástí. Zohlednění požadavků zákazníka i pro případné další následné opravy včetně výroby náhradních dílů.

Cíle diplomové práce:

1. Rozbor stávající výroby.
2. Návrh konstrukční úpravy a pevnostní výpočty.
3. Sestavení výrobního procesu včetně manipulace a ekologie.
4. Realizace technologie se zahrnutím požadavků zákazníka.
5. Zhodnocení dosažených výsledků, formulace doporučení.

Seznam literatury:

SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. Základy konstruování. 5. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 2013. 236 s. ISBN 978-80-7204-839-7.

FREIBAUER, Martin, Hana VLÁČILOVÁ a Milena VILÍMKOVÁ. Základy práce v CAD systému SolidWorks. 2. vyd. Brno: Computer Press, a.s., 2010. 326 s. ISBN 978-80-251-2504-5.

FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. Konstrukční oceli. 1. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 1996. 262 s. ISBN 80-85867-95-8.

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

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

ZEMČÍK, Oskar. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s.r.o. a Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s.r.o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 4. 11. 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ DĚKANÁT L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací rozebíratelného spoje, který slouží pro přenos velkého krouticího momentu z hnacího na hnaný člen ve svislém kovacím lisu. V první části jsou analyzovány nevýhody výroby, montáže a demontáže původního klínového spojení výstředníkové hřídele a ozubeného kola. Návrh nového rozebíratelného spojení má odstraňovat nevýhody původního spojení. Součástí návrhu jsou kontrolní výpočty. Další část se zabývá výrobou spojovacích elementů a úpravou spojovaných součástí pro navrhnutý spoj.

KLÍČOVÁ SLOVA

svislý kovací lis, výstředníková hřídel, rozebíratelné spojení, obrábění děr

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the design and realization of a detachable joint for transferring a large torque from a drive to a driven member in a vertical forging press. The first part analyzes the disadvantages of production, assembly and disassembly of the original wedge joint of eccentric shaft and gear. The design of a new detachable joint is intended to remove the disadvantages of the original joint. Verification calculations are part of the proposal. The next part deals with the production of joint elements and the modification of the connected components for the designed joint.

KEYWORDS

vertical forging press, eccentric shaft, detachable joint, machining holes

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MASAŘÍK, Adam. *Úprava výstředníkové hřídele a ozubeného kola pro svislý kovací lis*. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 86 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Milan Kalivoda

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Milana Kalivody a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 22. května 2017 ……..…….

Jméno a přímení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Milanu Kalivodovi z VUT v Brně, za cenné rady a připomínky během vypracovávání této diplomové práce.

Dále děkuji firmě Šmeral Brno a.s. za poskytnutí technického zázemí.

OBSAH

Úvod 10
1 Upravované části kovacího lisu 12
1.1 Výstředníková hřídel 13
1.2 Spojka a brzda 15
1.2.1 Ozubené kolo 17
1.3 Stav demontovaných částí 17
2 Rozbor klínového spojení výstředníkové hřídele a náboje 20
2.1 Obecná charakteristika spoje 20
2.2 Spojení podélnými klíny 21
2.3 Výroba klínů 23
2.4 Výroba drážek 23
2.4.1 Frézování drážek na hřídeli 24
2.4.2 Obrážení drážek v náboji 25
2.5 Montáž a demontáž klínů 27
2.5.1 Lícování 29
3 Návrh rozebíratelného spojení výstředníkové hřídele a náboje 31
3.1 Kolíkové spojení 31
3.2 Návrh kolíkového spojení 33
3.2.1 Volba materiálu jednotlivých součástí 34
3.2.2 Pevnostní kontrola 34
3.2.3 Návrh kombinovaného spojení kolíky a pery 38
3.3 Návrh spojení zajišťovacím zařízením RINGFEDER 41
3.4 Vyhodnocení variant 43
4 Výroba dílů pro kolíkový spoj 44
4.1 Návrh polotovarů 44
4.2 Dělení materiálu 46
4.3 Kalení a popouštění 46
4.3.1 Návrh tepelného zpracování rozpěrného pouzdra 47
4.4 Soustružení kuželových ploch 49
4.5 Broušení kuželových ploch 53
4.6 Technologický postup 56
5 Realizace úprav spojovaných součástí 57
5.1 Manipulace s materiálem 57
5.2 Úprava výstředníkové hřídele 58
5.2.1 Soustružení výstředných ploch 59

5.2.2 Penetrační zkouška na trhliny 63
5.2.3 Válečkování 63
5.3 Úprava ozubeného kola 65
6 Výroba kolíkového spoje 66
6.1 Příprava spojovaných součástí 66
6.2 Obrábění děr 67
6.2.1 Frézování kruhové kapsy 68
6.2.2 Vrtání 70
6.2.3 Zvětšování děr frézováním 72
6.2.4 Vystružování 74
6.3 Recyklace řezných kapalin 75
7 Diskuze 76
Závěr 78
Seznam použitých zkratek a symbolů 84
Seznam příloh 86

ÚVOD

Výroba obráběcích a tvářecích strojů spadá mezi významné odvětví českého strojírenského průmyslu. V českých zemích má tradici delší než 150 let a většina stávajících výrobních podniků vyváží své stroje do celého světa. Současnému růstu napomáhá celosvětově zvyšující se produkce v automobilovém průmyslu. Přes celkově příznivou situaci se však v exportu projevily některé negativní faktory, zejména pokles poptávky na ruském trhu, který dopadl i na český export do Německa. Tento problém se částečně daří nahrazovat exportem na čínský trh, který v posledních letech patří mezi nejvýznamnější exportní trh. Výrobní stroje známých českých značek ŠKODA, ŽDAS, TOS, KOVOSVIT MAS, ČKD, ŠMERAL a dalších, jsou v provozu téměř v každém čínském průmyslovém podniku. Pozitivním ekonomickým faktorem je zvýšení prodeje českých obráběcích a tvářecích strojů českým zákazníkům. Výrobci se snaží využívat konjunktury domácího průmyslu a prodávat své stroje na domácím trhu [1,2].

Snahou českých výrobců tvářecích strojů je udržovat stabilní pozici s konkurencí na celosvětovém trhu, proto je pro ně zcela zásadní hledat cesty k efektivní výrobě a modernizaci stávajících technologií. Trendem stávající doby jsou generální opravy, modernizace a retrofitting dříve vyrobených strojů (obr. 1). To je zpravidla prováděno jak u vlastních strojů, tak u strojů zhotovených jinými výrobci včetně těch zahraničních. Výhodou pro uživatele strojů jsou podstatně nižší náklady než náklady na pořízení nového stroje, přičemž z hlediska technického vybavení se stroj blíží novému. Nejčastěji jsou opravy orientovány na opotřebování jednotlivých funkčních dílů a dále na bezpečnostní prvky tak, aby splňovaly požadavky současných moderních technologií. Repasování a opravy strojů vyžadují patřičnou demontáž určitých částí nebo celého stroje. Zde mohou nastat první problémy, jelikož dlouholetým provozem může u některých součástí dojít k nerozebíratelnému spojení, které prodlužuje a prodražuje celý proces [3,4].

Obr. 1 Generální oprava a modernizace mechanického lisu [4].

ŠMERAL BRNO A.S.

Šmeral Brno a.s. je celosvětově známá firma, která se dlouhodobě zabývá výrobou tvářecích strojů. Základem výrobního programu jsou tvářecí linky automatizované pomocí robotů nebo transferů (obr. 1.1) a jednotlivé tvářecí stroje pro zápustkové kování za tepla s úpravou parametrů dle konkrétních požadavků zákazníka. Velice důležitým segmentem jsou generální opravy a modernizace jakýchkoli tvářecích strojů bez ohledu na jejich značku, typ a stáří. Zbývající výrobní kapacity společnosti jsou využívány pro strojírenskou výrobu na základě individuálních požadavků zákazníků. Převážná část produkce společnosti je exportována na rozvinuté trhy celého světa. Společnost disponuje vlastní vývojovou základnou, která se zabývá výzkumem a vývojem nových tvářecích strojů [4].

Obr. 1.1 Automatizovaná tvářecí linka se svislým kovacím lisem a ostřihovacím lisem [4].

1 UPRAVOVANÉ ČÁSTI KOVACÍHO LISU

Mechanické svislé kovací lisy jsou relativně mohutné tvářecí stroje, které se používají pro zápustkové kování za tepla s výronkem nebo bez výronku. Tváření probíhá v několika zápustkových dutinách, jejichž složitost postupně roste, což umožňuje rovnoměrné prokování tvarově náročných součástí. Výsledným produktem kování je výkovek, který je v mnohých případech dále zpracováván, nejčastěji technologií obrábění. Stroje nacházejí uplatnění při zpracování velkých sérií a pro svou vysokou produktivnost jsou vhodné pro uspořádání do mechanizovaných kovacích linek. Nejčastěji se užívají v automobilovém a leteckém průmyslu pro výrobu menších součástí, které vyžadují přesné rozměry a úzkou váhovou toleranci výkovku [4,5,6].

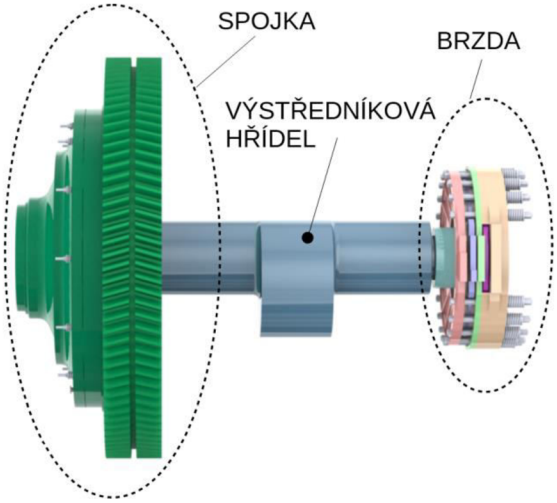
Nejčastějším třídícím parametrem svislých kovacích lisů je velikost jmenovité síly. Na trhu se prodávají stroje od velikosti 6,3 MN do 120 MN jmenovité síly. Výrobce tvářecích strojů Šmeral Brno a.s. nabízí dvě řady svislých kovacích lisů s označením LMZ a LZK (obr. 1.2). Nově připravuje řadu s označením SKL [4,7].

Obr. 1.2 Řady svislých kovacích lisů LMZ A LZK [4].

Obecný sklon stálých zákazníků je již zastaralé nebo poškozené stroje nechat opravit a modernizovat, pokud je to z hlediska hospodárnosti výhodné. Při generálních opravách a modernizacích dříve vyrobených svislých kovacích lisů byl zjištěn problém s potřebnou demontáží spojky a brzdy, které jsou spojeny s výstředníkovým hřídelem rozebíratelným klínovým spojem (obr. 1.3). Klínové spojení přenáší při provozu stroje velké krouticí momenty a je namáháno velkými měrnými tlaky. Za těžkých podmínek provozu se v některých případech stalo nerozebíratelným spojem. Tato skutečnost způsobuje časové navýšení procesu demontáže, spojeným s procesem opravy klínových drážek nebo spojovaných dílů. Další nevýhodou tohoto spojení je zdlouhavá výroba klínových drážek a následná montáž klínů, která vyžaduje přesné lícování klínů s drážkami.

Tato diplomová práce je zaměřena na úpravu rozebíratelného spojení výstředníkové hřídele s ozubenými koly tzv. ořechem spojky a brzdy, která má být provedena při generální opravě svislého kovacího lisu vlastní značky. Úkolem je nahradit klínový spoj za výhodnější spoj, jak z hlediska technologie obrábění, tak pro následný montážní a demontážní proces. Návrh nového spojení je sdružený s úpravou dosavadní výstředníkové hřídele a ořechu spojky (brzdy). Konstrukční návrh spojení je proveden pro obě ozubená kola. Součástí návrhu je

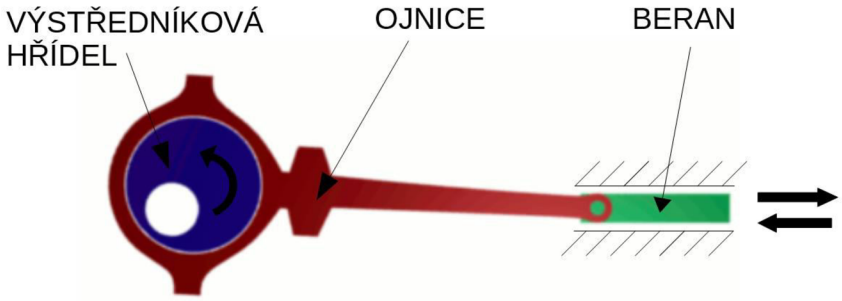
sestavení výrobního procesu a jeho realizace pouze pro spojení spojky s výstředníkovou hřídelí, které bylo demontováno za účelem generální opravy stroje.



Obr. 1.3 Výstředníková hřídel spojena se spojkou a brzdou.

1.1 VÝSTŘEDNÍKOVÁ HŘÍDEL

Výstředníková hřídel je modifikací klikové hřídele a je důležitou součástí výstředníkového mechanismu (obr. 1.4), který slouží k přeměně otáčivého pohybu (výstředníková hřídel) na přímočarý vratný pohyb (beran). Jedná se o zvláštní případ klikového mechanismu, který se používá ve svislých kovacích lisech pro vyvození velké síly při malém zdvihu. Skládá se z výstředníkové hřídele, na které je umístěna ojnice, která je na druhém konci spojena s beranem ojničním čepem [5].

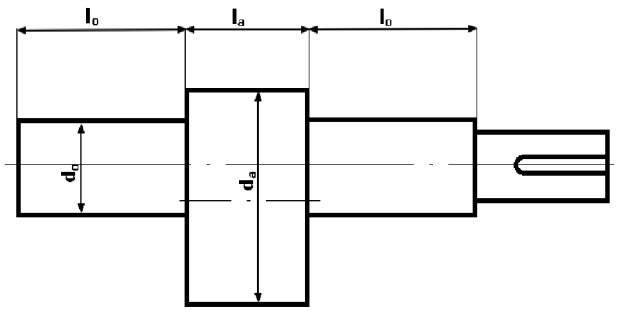


Obr. 1.4 Výstředníkový mechanismus [9].

Výstředníková hřídel pro svislé kovací lisy je nejčastěji tvořena jedním výstředním průměrem, jehož střed není shodný s celkovým středem hřídele. Existují však další konstrukční varianty, kde je výstředníková hřídel tvořena i více výstřednými průměry. Vzdálenost středu hřídele od středu jiného průměru se nazývá výstřednost (excentricita). Velikost jednotlivých rozměrů hřídele se odvíjí od velikosti maximální tvářecí síly kovacího lisu např. největší připravovaný svislý kovací lis SKL 8000 firmou Šmeral s tvářecí silou

80 MN bude obsahovat výstředníkový hřídel o celkové délce až 6 m. Charakteristický tvar výstředníkových hřídeli včetně návrhu poměrných rozměrů průměrů je uveden v tab. 1 [4.7].

Tab. 1. Poměrné rozměry výstředníkových hřídelů [7].



Rozměr [mm]	Poměrná velikost [mm]
d_a	$1{,}75 \cdot d_o$
l_o	$2 \cdot d_o$
l_a	$0{,}82 \cdot d_o$

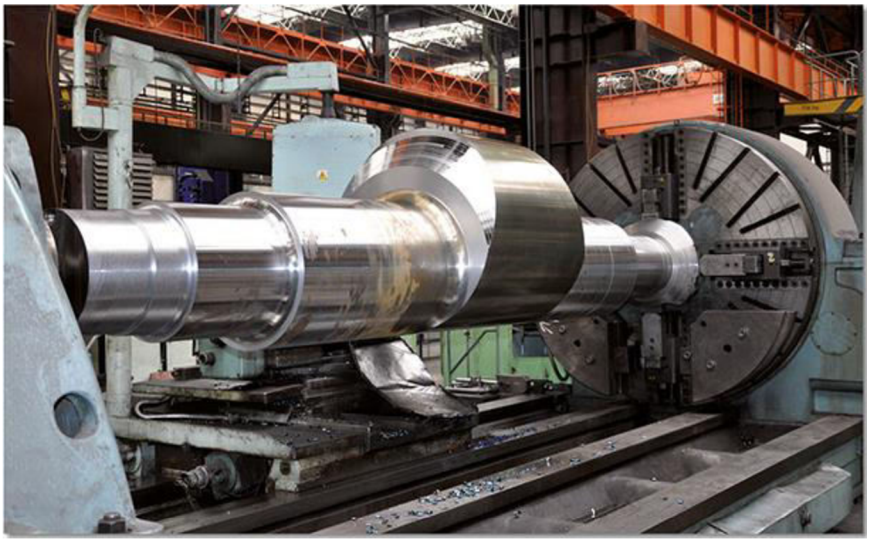
Polotovary pro velké hřídele o průměrech nad 200 mm se vyrábějí kováním (obr. 1.5). Hřídele menších průměrů do 200 mm mohou být vyráběny kováním nebo odléváním. Výkovky se žíhají nebo výjimečně zušlechťují na dolní pevnost. U velkých hřídelí se obvykle po žíhání neprovádí další tepelné zpracování z důvodu nízké prokalitelnosti výchozích materiálů. Povrchové kalení pro zvýšení odolnosti a proti otěru se používá pouze ve zvláštních případech, jelikož ve změnách průřezu dochází ke zhoršení vrubových účinků. Polotovary se dodávají s přidaným nákovkem na čele jednoho z krajních průměrů. Nákovek slouží pro zkoušky mechanických hodnot daného materiálu. Pro dosáhnutí požadovaného tvaru se dále zpracovává různými obráběcími procesy, jakými jsou např. soustružení (obr. 1.6), frézování a vrtání [8].

Obr. 1.5 Kovaný polotovar výstředníkové hřídele.

Volba výchozí materiálu je závislá na požadovaných mechanických hodnotách, velikosti a způsobu výroby polotovaru. Na výkovky se nejčastěji používá legovaná ocel, která se dále zušlechťuje na dolní pevnost. Pro výkovky výstředníkové a klikové hřídele se také používá nelegovaná konstrukční ocel C55 v zušlechtěném stavu. Shrnutí používaných materiálu je uvedeno v tab. 1.1 [8].

Tab. 1.1 Používané materiály pro výstředníkové hřídele tvářecích strojů [8].

Značka oceli dle EN nebo EN ISO	Tepelné zpracování	Mez pevnosti v tahu σ_t [MPa]	Mez pevnosti na únavu v ohybu σ_{oc} [MPa]	Mez pevnosti na únavu v krutu σ_{kt} [MPa]	Použití
C55	Normalizačně žíhaný	600–750	270–340	160– 200	Velké kované hřídele
27MnCrV4	Zušlechtěný na dolní pevnost	830	390–460	220–255	Velké kované hřídele
X19NiCrMo4	Zušlechtěný na dolní pevnost	1120	530–580	330–360	Hřídele s průměry do 200 mm kované nebo lité



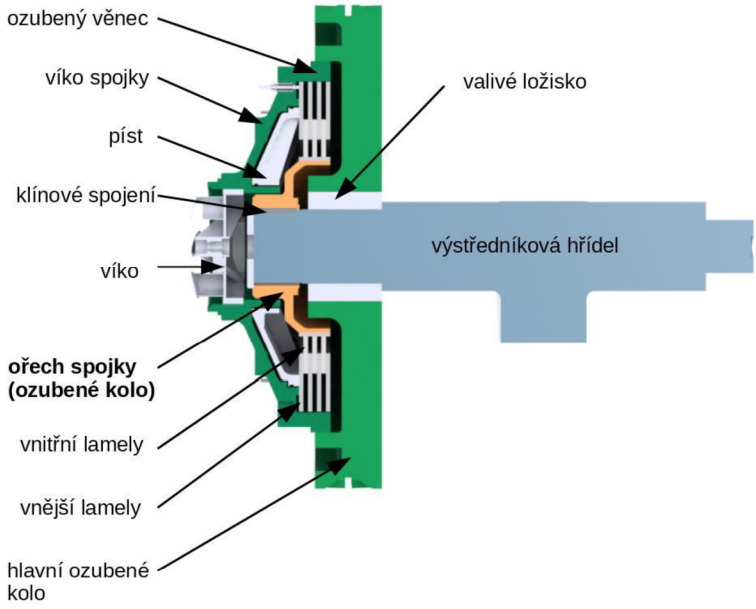
Obr. 1.6 Soustružení výstředníkové hřídele.

Při montáži je výstředníková hřídel na jednom konci spojena se spojkou a na druhém konci spojena s brzdou. Na výstředném průměru je umístěna ojnice zajišťující pohyb beranu. Z tohoto důvodu patří mezi nejvíce namáhané součásti výstředníkového mechanismu. Je namáhána na ohybu a krut, podobě jako klikový hřídel u pístových strojů. Hřídel se jako celek otáčí na ose pevně uložené pomocí kluzných bronzových pouzder ve stojanu.

1.2 SPOJKA A BRZDA

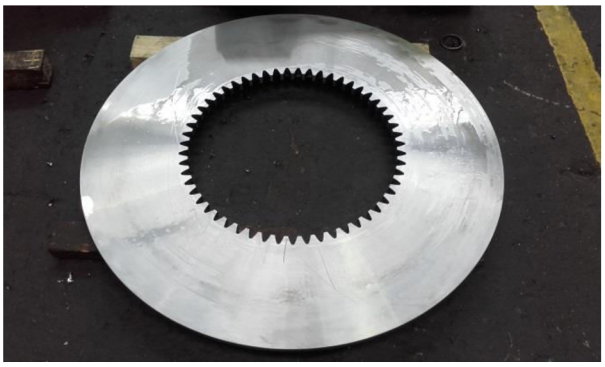
Spojky mechanických lisů slouží k přenosu velkých krouticích momentů od pohonu stroje na výstředníkovou hřídel. Spojení obou součástí je provedeno několika klínovými spoji. Spojky lze rozdělit podle spojovacího ústrojí na pozitivní (zubové a čepové) a na třecí (lamelové a kuželové). Podle způsobu ovládáním lze rozdělit na mechanické, pneumatické a hydraulické. Pro mechanické svislé kovací lisy se nejčastěji používá lamelová třecí spojka, která je spojena s výstředníkovým hřídelem pomocí ořechu spojky (ozubeného kola) [7].

V případě úpravy demontovaného kovacího lisu se jedná o lamelovou třecí spojku. Mezi její hlavní části patří hlavní ozubené kolo, ozubený věnec, víko spojky, píst, vnitřní lamely, vnější lamely a ořech spojky (ozubené kolo), který je spojen s výstředníkovým hřídelem pomocí klínového spoje (obr. 1.7).



Obr. 1.7 Lamelová třecí spojka nasazená na výstředníkovou hřídel.

Vnitřní lamely (obr. 1.8) jsou opatřeny obložením a slouží jako spojovací prvek s ořechem spojky (obr. 1.9). Vnitřní lamely jsou vystaveny většímu měrnému tlaku než zuby lamel vnějších, proto jsou z oceli, která je vhodná pro povrchové kalení. Pro povrchové kalení se používá dobře kalitelných ocelí s obsahem uhlíku vyšším než 0,35% [8].



Obr. 1.8 Vnitřní lamela.

Obr. 1.9 Ořech spojky.

Brzda slouží k zabrzdění beranu a držení v poloze horní úvrati. Používají se brzdy pásové, čelisťové a lamelové. Na demontovaném kovacím lisu je lamelová brzda, která je spojena s výstředníkovou hřídelí ozubeným kolem, které je velice podobné jako u spojky, ale menšího provedení [7].

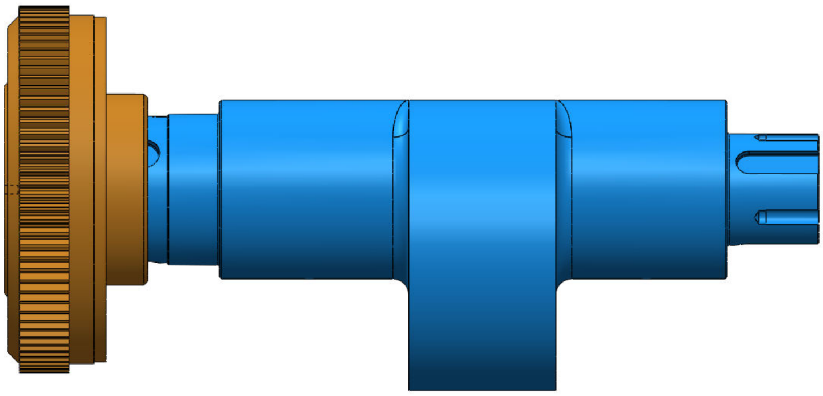
1.2.1 OZUBENÉ KOLO

Pro přenos krouticího momentu je na výstředníkovou hřídel natažen ořech spojky (obr. 1.10), který je ustaven do požadované polohy a následně pomocí klínových spojů zajištěn. Polotovar ořechu spojky je vyráběn odléváním (obr. 1.11). Z hlediska tvaru a požadovaných materiálových vlastností se na výrobu používá uhlíková ocel na odlitky. Materiálové vlastnosti dané oceli se dají zlepšit tepelným zpracováním. Vnější obvodové zuby, které jsou v kontaktu se zuby vnitřních lamel, se po obrobení povrchově kalí na tvrdost 55±5 HRC. Tradiční metodou povrchového kalení je kalení plamenem a indukční kalení. Nová a moderní technologie povrchového kalení je kalení laserem.

Obr. 1.10 Ořech spojky.

Obr. 1.11 Výchozí polotovar ořechu spojky.

Jako součást brzdícího ústrojí je na výstředníkovou hřídel natažen ořech brzdy, který je ustaven do požadované polohy a následně pomocí klínových spojů podobně jako ořech spojky na obr. 1.12.



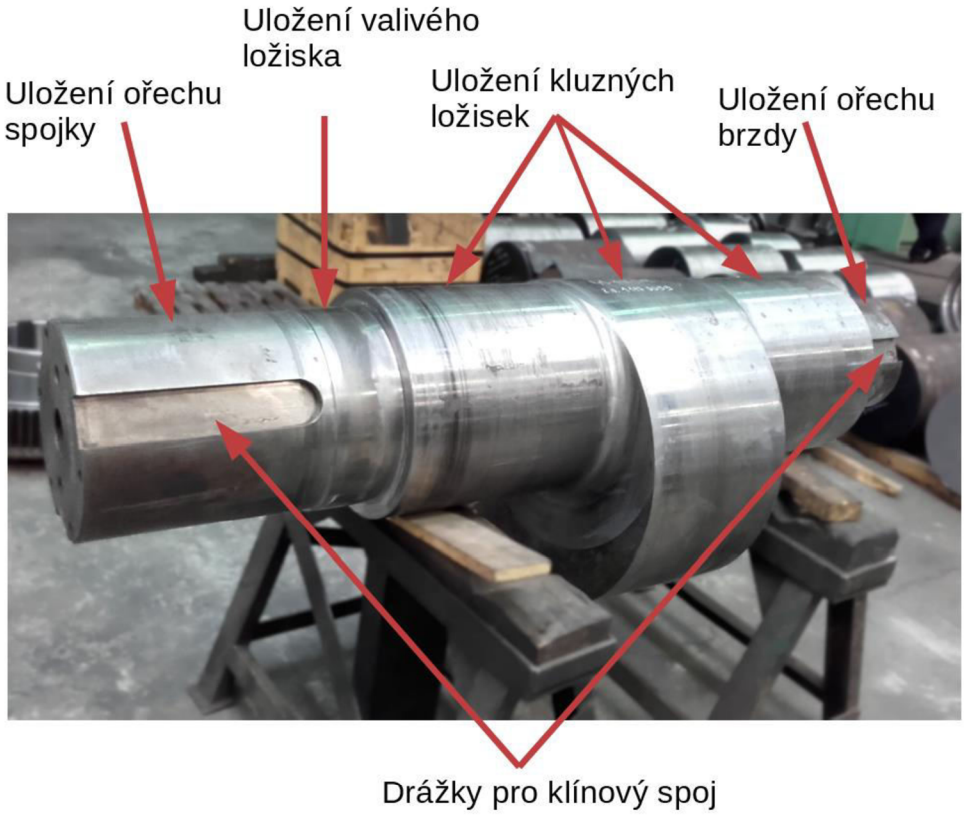
Obr. 1.12 Ořech spojky nasazený na výstředníkovou hřídel.

1.3 STAV DEMONTOVANÝCH ČÁSTÍ

Po celkové demontáži svislého kovacího lisu bylo úkolem konstrukčního a technologického střediska analyzovat jednotlivé demontované dílce pro možnost dalšího použití. První krokem po demontáži součástí z lisu je zbavení dílců povrchových nečistot, které vznikly provozem stroje. Dalším krokem je důkladná vizuální prohlídka. Výstředníková hřídel patří mezi velmi

namáhané součásti klikového mechanismu. V průběhu provozu stroje mohlo dojít ke vzniku trhlin ohrožující bezpečnost provozu a omezující životnost stroje. Zjišťování vad se provádí nedestruktivními zkouškami (kapilární zkouška na trhliny). Výstředníková (hnaná) hřídel je spojena se spojkou a brzdou klínovými spoji, které jsou tak vystaveny cyklickému namáhání. Vlivem nedokonalého lícování klínů v klínových drážkách dochází ke snížení únosnosti, a tím snížení provozní životnosti spoje. Působení velkých měrných tlaků na klín může způsobit deformaci klínů, která znesnadňuje potřebnou demontáž. Při následné demontáži těchto klínů může dojít k poškození jedné či obou spojovaných součástí. Poškozené drážky v hřídeli a v náboji se opravují dalším obráběním. Dále musí být vyrobeny nové klíny příslušející opraveným drážkám. Z těchto hledisek je vhodné stávající klínové spojení nahradit sofistikovanějším spojením.

Pro případ demontované hřídele na obr. 1.13 bylo konstrukčním a technologickým střediskem rozhodnuto o možnosti dalšího použití, ale nezbytné úpravě. Na demontované výstředníkové hřídeli jsou válcové plochy, na kterých jsou uložena tři bronzová kluzná ložiska a jedno valivé ložisko. Kluzná ložiska budou nahrazena novými a válcové plochy na výstředníkové hřídeli budou renovovány. Demontované válečkové ložisko bude opět použito. Pro opětovné použití ložiska nesmí dojít ke změně rozměru průměru úložné plochy, tak aby bylo zaručeno stejné uložení. Koncové válcové plochy s klínovými spoji nejsou poškozeny a nabízí se tak možnost využít skladových zásob náhradních dílů, které obsahují oba ořechy potřebného rozměru. Největší konstrukční úpravou je navrhnutí nového spoje pro přenos krouticího momentu místo dosavadního klínového spojení.



Obr. 1.13 Demontovaná a očištěná výstředníková hřídel.

Dále bylo konstrukčním a technologickým střediskem rozhodnuto o výměně demontovaného ořechu spojky (obr. 1.14) a ořechu brzdy. Tyto součásti budou použity ze skladových zásob a pouze upraveny pro nové spojení (obr. 1.15).

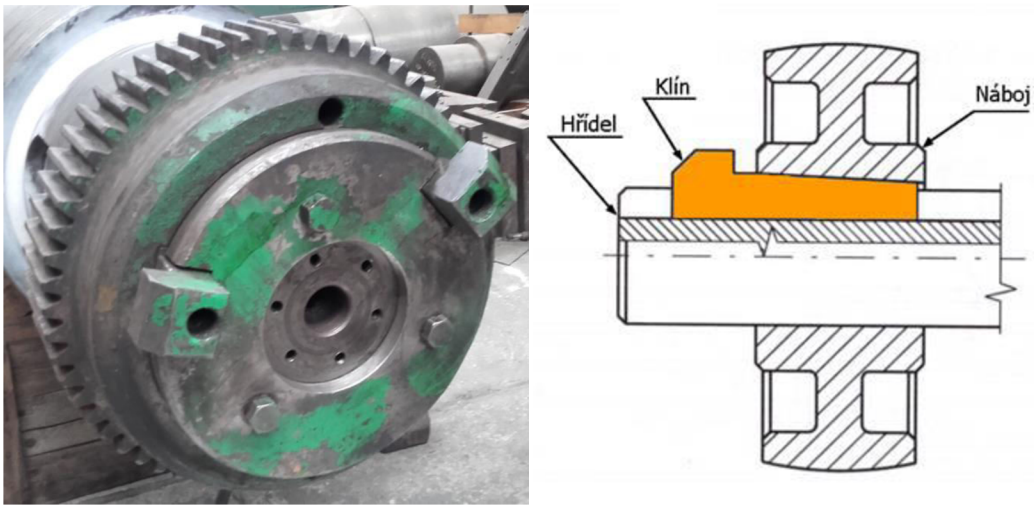
Obr. 1.14 Demontovaný ořech spojky.

Obr. 1.15 Náhradní díl ořechu spojky.

2 ROZBOR KLÍNOVÉHO SPOJENÍ VÝSTŘEDNÍKOVÉ HŘÍDELE A NÁBOJE

Význam a rozsah použití klínových spojů ve strojírenství se za poslední dobu výrazně snížil. Nyní jsou tyto spoje nahrazovány výrazně sofistikovanějšími spoji. Stále však existují oblasti, kde nacházejí specifické uplatnění. Používají se především ve strojních zařízeních pracujících v těžkých provozech, kde vytvářejí pevné spojení hřídele a náboje bez vůle ve stykových plochách. Jsou výhodné pro svou rychlou výměnu a jednoduchou montáž s možností operativního ustavení náboje na hřídeli [10].

Z těchto důvodů se klínové spoje používaly ve svislých kovacích lisech pro spojení výstředníkové hřídelí se spojkou a brzdou (obr. 2), které jsou jednotlivě umístěny na obou koncích této hřídele. Funkčnost tohoto spoje byla ověřena řadou let provozu stroje. Nevýhodou spoje je nutnost výroby drážek na každém spojovaném dílci samostatně bez vzájemného přesazení a zdlouhavá, tím pádem nákladná montáž klínů. Další problémy použití těchto spojů nastaly při generálních opravách a modernizacích již vyrobených svislých kovacích lisů a jiných tvářecích strojů. Těžkým provozem stroje a jeho přetěžováním docházelo ke zvýšení silového působení a třecích sil mezi klínem, hřídelí a nábojem. Z klínového spoje se tak v některých případech stal ze spoje rozebíratelného spoj nerozebíratelný. Tento problém navyšoval montážní práce na demontáž spojených strojních součástí a související opravu spoje. Následující podkapitoly se věnují možnostem použití těchto spojů, následné výroby, montáže a demontáže.

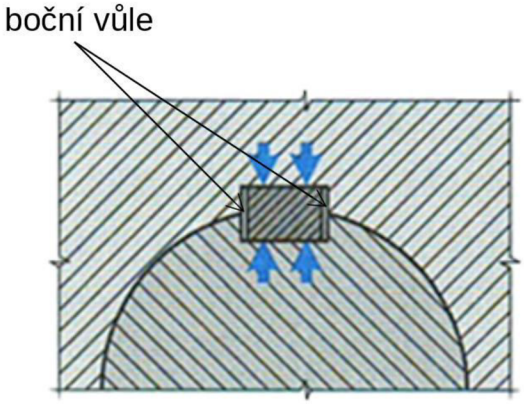


Obr. 2 Spojení hřídele s ořechem brzdy drážkovým klínem s nosem [11].

2.1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA SPOJE

Spojení pomocí klínů se používá skoro výhradně s umístěním na válcové ploše pro spojení hřídele a náboje k přenosu střídavých krouticích momentů. Podle základních hledisek se řadí mezi rozebíratelné spojení umožňující poměrně rychlou montáž a následnou demontáž jednoduchými prvky. Jedná se o předpjaté spojení s tvarovým stykem. Klín je násilně zaražen do podélné mezery mezi hřídelem a nábojem. Tím je ve spoji vyvolán uzavřený systém vnitřního silového působení tzv. stav montážního napětí, které ve spojení s příslušnými

třecími silami vytváří pevné, nepohyblivé spojení (obr. 2.1). Spojení se rozlišuje podle tvaru, rozmístění klínů a podle charakteru montážního předpětí na spojení s klíny radiálními a spojení s klíny tangenciální, které jsou tvořeny dvěma páry vzájemně přesazených klínů o 120° [10,13].



Obr. 2.1 Silové působení drážkového klínu [11].

Spojka a brzda svislého kovacího lisu je spojována s výstředníkovou hřídelí podélnými klíny, proto bude pozornost věnována pouze tomuto spojení.

Výhody klínového spojení:

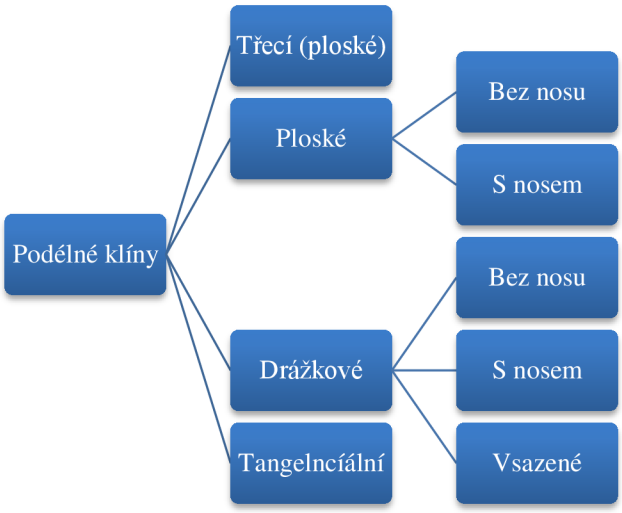
- zajišťuje nastavení vzájemné polohy náboje na hřídeli,
- umožňuje přenášet velké silové zatížení,
- poskytuje možnost současného přenášení osové síly v jednom směru.
- má vyšší únosnost než spojení perem[10,11,12].

Nevýhody klínového spojení:

- vzniká nesouosost hřídele a náboje, která vede k házení náboje,
- náročnější montáž spojená s lícováním,
- vzniklé předpětí způsobuje přídavné namáhání hřídele a náboje,
- drážka v hřídeli představuje zeslabení hřídele a vytváří konstrukční koncentrátory napětí (vruby),
- v případě použití klínu s nosem na místě přístupném obsluze je z hlediska bezpečnosti nutné rotující nos zakrýt krytem [10,11,12].

2.2 SPOJENÍ PODÉLNÝMI KLÍNY

Z hlediska tvaru a polohy umisťování se radiální klíny značně podobají tyčovým perům. Charakteristický prvek, který klíny odlišuje od tyčových per je jednostranný úkos horní stykové plochy o normalizované velikosti nacházející se na straně náboje, který zaručuje samosvornost. Vkládají se do klínové mezery obdélníkového profilu s podélným úkosem 1:100, kde následně fungují jako radiálně rozpěrný prvek tvořící rozebíratelný spoj. Rozměry a tolerance normalizovaných klínů jsou uvedeny v příslušných normách. Podélné klíny se rozdělují podle úpravy místa styku a následně dle tvaru viz obr. 2.2 [10,11,12,13].



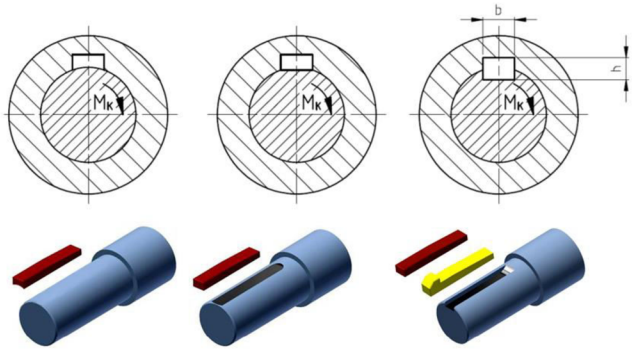
Obr. 2.2 Rozdělení podélných klínů.

Klíny se vyrábějí v provedení bez nosu nebo s nosem. Konstrukční varianta klínu bez nosu se v praxi používá v případě, kde je možné klín při demontáži vyrazit z druhé strany. Pokud konstrukce zařízení nedovoluje při demontáži přístup z druhé strany, tak je možný použít klín s nosem. Nos umožňuje demontáž z první strany [10,13].

Drážkový klín se používá pro přenášení velkých krouticích momentů. Klín je uložen v podélné drážce na hřídeli, která má dno rovnoběžné s osou hřídele. Spoj bývá konstrukčně řešen tak, že klín je zarážen zleva a vyrážen zprava. Nachází-li se spoj ve střední části hřídele, drážka pro klín musí mít alespoň dvojnásobnou délku klínu [11,12,13].

Třecí klín se používá pro přenášení malých krouticích momentů, které přenáší pouze třením. Spodní plocha klínu kopíruje tvar hřídele a v místě spoje tedy nedochází k zeslabení hřídele (obr. 2.3). Tento druh spojení může přenášet asi třetinu krouticího momentu, pro který byla navržena hřídel a často se používá pouze jako dočasný spoj [11,12,13].

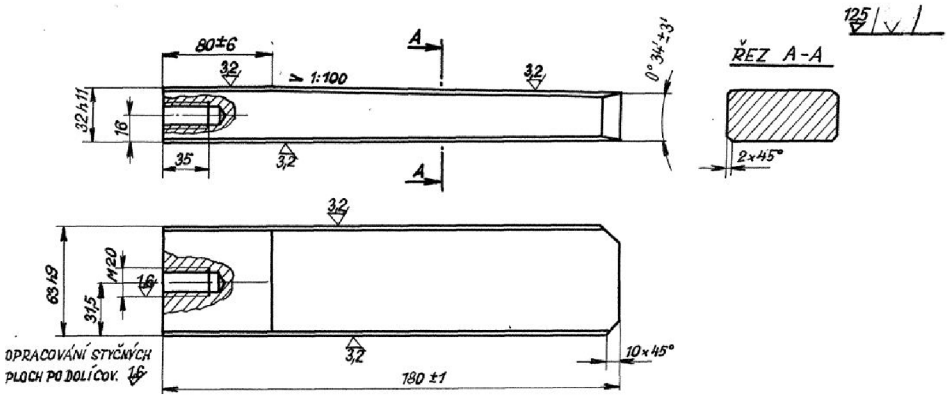
Ploský klín se používá pro přenášení malých krouticích momentů, které přenáší většinou pouze třením. Spodní plocha klínu je rovinná a dosedá na rovinnou plochu, která musí být vytvořena na hřídeli. V místě spoje, tak dochází k mírnému zeslabení hřídele. Výroba rovinné plochy klínu je podstatně jednoduší než plocha u třecího klínu. Přenáší však třetinu krouticího momentu stejně jako třecí klín [11,12,13].



Obr. 2.3 Úprava hřídele a náboje pro vybrané podélné klíny [11,31].

2.3 VÝROBA KLÍNŮ

Vzhledem k namáhání klínů na otlačení a smyk se k výrobě používá ocel střední pevnosti s vyšším obsahem uhlíku. Na normalizované klíny se používá nelegovaná konstrukční ocel E355. Prodejci hutních materiálu nabízejí pro klíny a pera ocel E355 taženou za studena s rozměrovými úchylkami h9 na šířku a h11 na tloušťku. Tyče o šířce do 12 mm jsou vyráběny v délce od 1,5 do 3,5 m a tyče o šířce přesahující 12 mm v délce od 1,5 do 6 m. Tyče rozměrů 56×32 mm a 63×32 mm se dodávají s ostrými hranami. Rozměry s tolerancemi normalizovaných klínů a přiřazení daných klínů k hřídelům a nábojům jsou k nalezení v příslušné normě ČSN 02 2512. Dle uvedené normy platí pro klín bez nosu s obdélníkovým průřezem tolerance rozměrů na výšku h11 a šířku h9. Výstředníková hřídel kovacího lisu je s nábojem spojována drážkovým klínem s nosem nebo bez nosu (obr. 2.4) s vrtaným závitem na čele pro možnost demontáže [14].

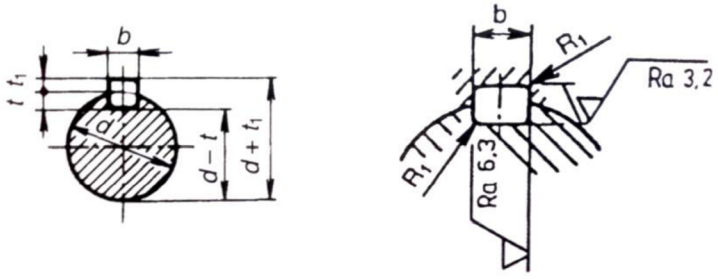


Obr. 2.4 Drážkový klín bez nosu.

Pokud není možné daný klín přímo nakoupit, je nutné ho vyrobit. Drážkový klín má, jakožto strojní součást jednoduchý tvar a výroba není nikterak složitá. Výroba drážkového se klínu se skládá ze základních technologických operací, jako je dělení materiálu, frézování, (vrtání a řezání závitů) a sražení hran. Výrobu lze provádět základními komunálními nástroji (vrták, fréza, závitník, apod.). Pro frézování úkosu 1:100 je výhodné použít podložky s požadovaným úkosem.

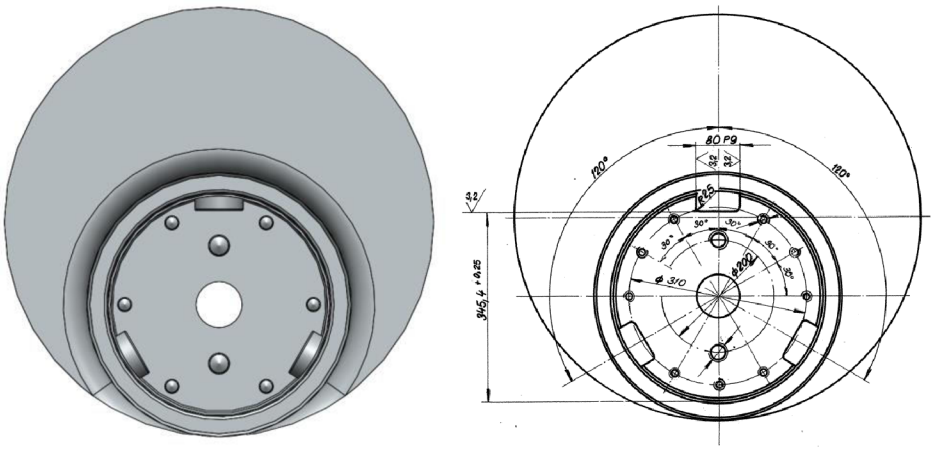
2.4 VÝROBA DRÁŽEK

Spojení dvou součástí drážkovým klínem bez nosu vyžaduje výrobu drážky v hřídeli i v náboji dle normy ČSN 02 2512 (obr. 2.5). Drážky vždy kopírují tvar dosedacích ploch klínu. V hřídeli se jedná o podélnou rovinnou drážku, která má dno rovnoběžné s osou hřídele. V náboji se jedná o drážku s úkosem 1:100, stejným jako má klín [14].



Obr. 2.5 Drážka pro klínové spojení [14].

Pro přenos kroutícího zatížení se provádí výpočet počtu potřebných klínů. Výstředníková hřídel byla spojena se spojkou třemi klíny a s brzdou pouze dvěma klíny. V případě použití více klínů je nutné zvolit vhodné rozmístění. Výrobce tvářecích strojů používá pro rozmístění drážek úhel 120° kótovaný od polohy středové osy první drážky (obr. 2.6).

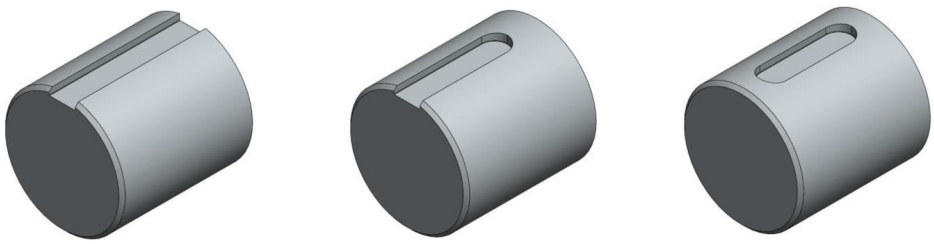


Obr. 2.6 Boční pohled na drážky ve výstředníkovém hřídeli pro spojku.

Výroba více drážek přináší menší komplikace, jelikož jednotlivé drážky v hřídeli a náboji musí být souosé. Z toho důvodů se nejdříve vyrábějí všechny drážky na hřídeli a pouze jedna na ozubeném kole. Následně se provádí spojení hřídele a náboje jedním klínem a chybějící drážky na náboji se orýsují podle vyrobených drážek na hřídeli. Výroba podle narýsování zajistí, aby drážky nebyly při sestavení vzájemně přesazeny a umožňovaly vsazení klínů.

2.4.1 FRÉZOVÁNÍ DRÁŽEK NA HŘÍDELI

Pravoúhlé drážky lze podle umístění rozdělit na otevřené, jednostranně uzavřené nebo uzavřené (obr. 2.7). Typ vyráběné drážky pro klínový spoj závisí na poloze a druhu použitého klínu [16].

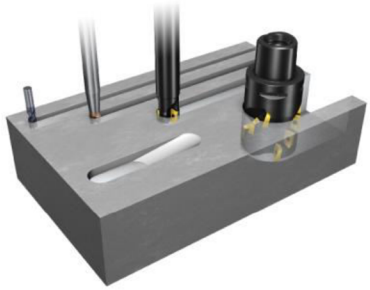


Obr. 2.7 Druhy drážek pro klínový spoj.

Podélné drážky na vnějších válcových plochách se vyrábějí frézováním. Frézování těchto drážek spadá mezi základní frézovací operace a provádí se na vertikálních i horizontálních frézkách. Stroje mohou být konvenční, NC nebo CNC. Volba stroje závisí na velikosti obrobku, jenž ovlivňuje potřebný pracovní prostor. Pokud se drážka nachází na rozměrné strojní součásti, jako je např. výstředníková hřídel kovacího lisu je nutné provádět frézování na horizontálních frézách s potřebným pracovním stolem. Materiál se upíná do strojního svěráku, popřípadě do prizmatického svěráku [16].

Při frézování drážek na vnější válcové ploše se rozlišují dvě základní koncepce frézování a to obvodem kotoučových fréz (obr. 2.8) nebo stopkovými frézami (obr. 2.9). Výběr vhodné metody frézování závisí na typu stroje (horizontální či vertikální frézka), tvaru, průřezu a rozměrů drážky. Kotoučové frézy umožňují vytvoření dlouhé, hluboké, otevřené drážky a používají se zejména na horizontálních frézkách. Nevýhodou je, že se touto metodou vyrábějí pouze lineární drážky. Výhodou je, že nabízejí možnost vytvoření složeného nástroje pro obrábění více drážek ve stejnou dobu. Nelze s nimi frézovat uzavřené drážky např. drážka pro těsné pero. Frézování stopkovými frézami je vhodné pro vytvoření uzavřené a mělké drážky. Jedná se o univerzální metodu s možností výroby nelineárních drážek. Pro uzavřené drážky je nutno použít drážkovací frézu nebo stopkovou frézu s centrálním břitem, která umožňuje zavrtání do plného materiálu. Tvar použité frézy odpovídá tvaru frézované drážky [15,16].

Obr. 2.8 Frézování kotoučovými frézami [16].



Obr. 2.9 Frézování stopkovými frézami[16].

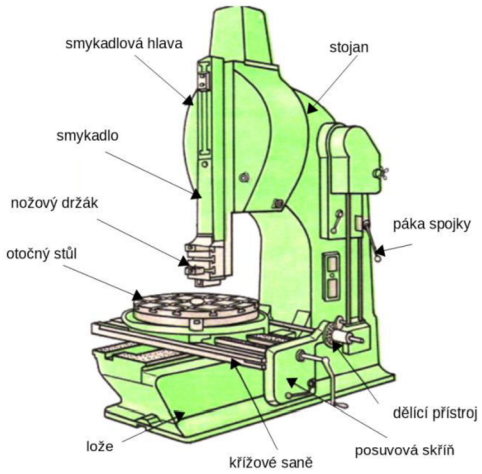
Pro šířku drážky se používá rozměrová tolerance P9. Tolerovaná šířka drážky se kontroluje pomocí plochého kalibru nebo základních měrek. Ostatní rozměry se většinou kontrolují posuvným měřítkem [14].

2.4.2 OBRÁŽENÍ DRÁŽEK V NÁBOJI

Klínové spojení podélnými klíny vyžaduje výrobu drážky na vnitřní kruhové ploše náboje. Jedná se o poměrné dlouhou úzkou plochu. Dno drážky musí být vyrobeno se stejným sklonem 1:100, jako má klín.

Drážky na vnitřních válcových plochách lze vyrábět obrážení nebo protahování. Protahování je velmi produktivní metoda obrábění, která nachází uplatnění v hromadné a sériové výrobě. Nevýhodou protahování je vysoká cena a složitost výroby nástroje. Výhodou je možnost protahovat velice složité tvary. Mezi výhody obrážení patří jednoduchý a levný nástroj se snadným ostřením a možnost odebírat velké třísky na jeden záběr. Jedná se o málo produktivní metodu obrábění vhodnou pro kusovou a malosériovou výrobu. Výroba a opravy kovacích lisu se u daného výrobce zařazuje mezi kusovou výrobu. Jedná se totiž o malé množství kusů s mnoha různými variantami pro řadu kovacích lisů [17,18].

Obrážení je metoda obrábění, kde hlavní přímočarý vratný pohyb vykonává jednobřitý nástroj upevněný ve smýkadle stroje (obr. 2.10). Stroje nazývají obrážečky a podle pohybu nástroje se rozdělují na vodorovné a svislé obrábění rovinných ploch a rotační válcových ploch, kolmých k upínací ploše [18].

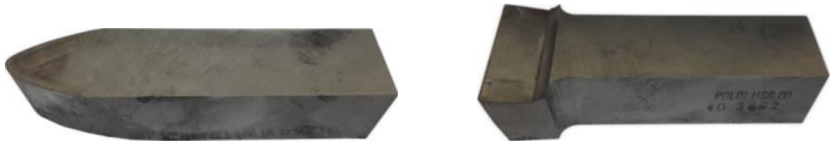


Obr. 2.10 Popis svislé obrážečky [18] *Obr. 2.11 Svislá obrážečka STSR 1400*

Obrážení klínové drážky pro velká ozubená kola se nejčastěji provádí na svislých obrážečkách (obr. 2.11). U svislých obrážeček pracuje smýkadlo směrem shora dolů. Pohon smýkadla je převážně prováděn pomocí klikového mechanismu. Ozubené kolo se ustaví čelem na pracovní stůl stroje a upne se pomocí upínek. Klínová drážka se však od drážky v hřídeli liší úkosem 1:100 po celé délce. Některé stroje dovolují vyklonění smýkadla o 10–15° od svislé osy. V případě, že stroje nenabízí tuto možnost, používají se pomocné podložky s potřebným úkosem drážky (obr. 2.12). Tyto podložky se upínají na pracovní plochu stroje a na ně se pokládá obrobek. Tímto způsobem vznikne požadovaný sklon vůči nástroji [17,20].

Obr. 2.12 Pomocná podložka.

Nástroje (obr. 2.13) se upínají do nožového držáku. Při vratném pohybu se odklápějí, aby nedocházelo ke styku nástroje s obrobenou plochou, při kterém by mohlo dojít k jeho nevratnému poškození. Obrábění dlouhých úzkých ploch vyžaduje velké vyložení nástroje, které způsobuje chvění a pružení nástroje, jeho obtížné chlazení a špatný odvod třísek. Ke zvýšení tuhosti zvětšuje průřez těla nástroje. Tvar řezné části odpovídá požadovanému tvaru drážky. Nástroje jsou převážně vyráběny jako celistvé z rychlořezné oceli (HSS). Použití slinutých karbidů na řeznou část nemá hospodárnou využitelnost [17,18,24].



Obr. 2.13 Obrážecí nože.

Šířka záběru ostří a posuv se volí s ohledem na tuhost soustavy nástroj – obrobek – stroj a výkon stroje. Požadovaný tvar se hrubuje a následně se dokončuje na čisto. Pro dokončování se ponechává přídavek 0,1–1 mm. Pro práci na čisto se hloubka řezu volí v

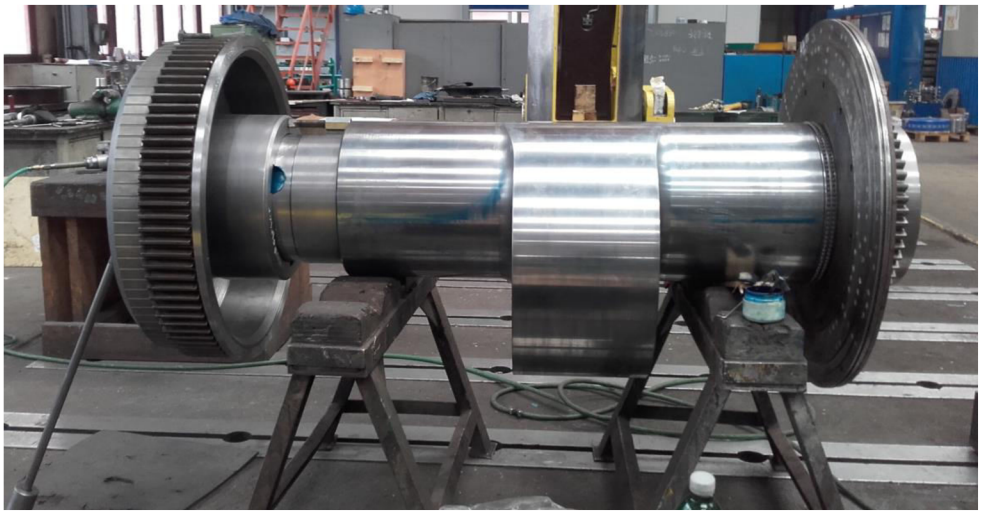
rozmezí 0,1–1 mm a posuv 0,05–0,4 mm dle požadované jakosti povrchu. Snížením posuvu se zlepší výsledná drsnost povrchu. Volbu řezné rychlosti ovlivňuje řezivost nástroje, obrobitelnost obrobku, velikost třísky a typ výrobního stroje (vodorovná nebo svislá obrážečka [18,19,20].

2.5 MONTÁŽ A DEMONTÁŽ KLÍNŮ

Svislý kovací lis se skládá z velkého počtu součástí, které se montují do větších montážních celků tzv. podskupiny. Tyto podskupiny se následně montují do dalších montážních celků tzv. skupin. Tímto způsobem se dospěje k sestavení celého stroje.

Montáž klínů je poslední fáze výrobního procesu dané podsestavy dílů. Provádí se za účelem rozebíratelného spojení jednotlivých dílců do většího montážního celku. Celý montážní proces lze rozdělit na přípravné práce, vlastní montáž a dokončovací operace. Výrobce kovacích lisů provádí tyto operace na svém specializovaném montážním pracovišti.

Mezi přípravné práce patří čistění spojovaných součástí od zbytku třísek a dalších nečistot, přichystání pomocných montážních prvků a nářadí. Jako první se za pomocí jeřábu provede přeprava připravené výstředníkové hřídele na montážní stojany. Ta se samozřejmě přepravuje a umisťuje s výstředným průměrem ve spodní poloze. Následně se obdobným způsobem přepravují zbylé součásti a to ořech spojky a ořech brzdy, které se v zavěšeném stavu nasazují na výstředníkový hřídel (obr. 2.14). Dílce se nasazují do předepsané axiální polohy s požadavkem souososti drážek na hřídeli a náboji. Při montáži klínů je nutné nasazené dílce zajistit proti axiálnímu pohybu, který by při narážení klínů mohl vzniknout. Takto je sestava dílců připravena na spojení podélnými klíny.



Obr. 2.14 Příprava spojovaných součástí na montáž (demontáž).

Montáž klínů provádí zaškolený montážní pracovník. Druh použitého klínu ovlivňuje způsob jeho montáže. Základní podmínkou pro montáž je, aby daný klín dosedal svou plochou na dno drážky výstředníkové hřídele a náboje po celé délce, zatímco boky klínů jsou uloženy s vůlí. Vůle mezi klínem a dnem dosedací drážky se kontroluje spároměrem. Pro správné dosednutí ploch do drážky výstředníkové hřídele a náboje se provádí lícování metodou zaškrabáváním. Kontrola lícování se provádí tak, že dané plochy potřeme příměrnou barvou (berlínská modř) a poté lehce zarazíme do klínové drážky a následně vytáhneme [10,21,22].

Demontáž je proces, při kterém je sestava dílců rozebírána na jednotlivé dílce. Při opravách nebo modernizaci svislých kovacích lisů má snadná demontáž velký význam. Nesnadná montáž zvyšuje časovou náročnost a s tím spojené náklady. Mohou nastat případy, kdy nemožná nebo nesprávná demontáž vede k poškození některých z dílů. Po takové demontáži následuje posouzení stavu poškozených součástí a určení, zda je možná oprava nebo bude muset být vyroben dílec nový. Z těchto důvodů je nutné volit způsob spojení nejen s ohledem na montáž, ale i demontáž.

Klíny bez nosu se používají tam, kde konstrukční upořádání součástí umožňuju vyražení klínu z druhé strany. Nastane-li případ, kdy není možné klín z druhé strany vyrážet, tak se používají klíny s nosem. Mezi náboj a nosem zaraženého klínu je nutné ponechat dostatečnou mezeru, aby bylo možné klín za nos uchopit a následně vyjmout. Nevýhodou těchto klínů je vyčnívající nos, který může za provozu na přístupných místech způsobit obsluze zachycení za rukáv nebo zranění. S ohledem na bezpečnost je nutno v takovýchto případech použít vhodné krytování [21,22,23] .

Konstrukční uspořádání spojovaných součástí svislého kovacího lisu neumožňuje vyražení klínu z druhé strany a zároveň nemůže být použit klín s nosem, jelikož se na hřídel montuje víko, které zajišťuje pohyb hřídele v axiálním směru. V tomto případě je tedy nutné použít klíny bez nosu. Jako demontážní prvek se používá závitový otvor, který je umístěn na přední (demontážní) části klínu (obr. 2.15).

Obr. 2.15 Demontovaný klín bez nosu

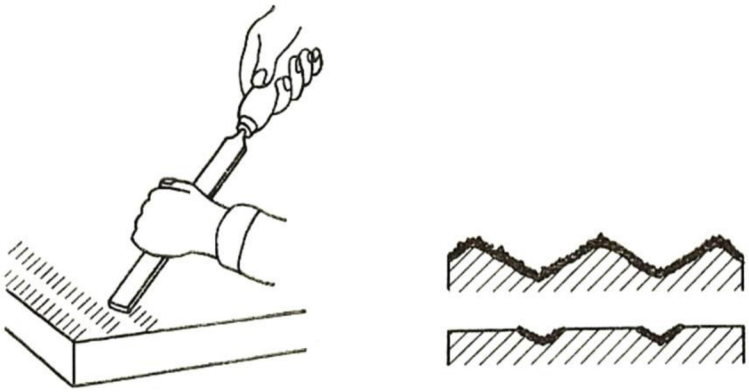
Při demontáži ozubeného kola z výstředníkové hřídele se nejprve sejme krycí víko (obr. 2.16) a následně jsou uvolněny klíny (obr. 2.17). Na čelní ploše ozubeného kola jsou závitové otvory pro stahovací šrouby, pomocí nichž se ozubené kolo stahuje z hřídele.

Obr. 2.16 Krycí víko.

Obr. 2.17 Demontáž podélného klínu.

2.5.1 Lícování

U klínového spoje je důležité, aby bylo dosáhnuto stejnoměrného rozložení tlaků ve styčných plochách. Z tohoto hlediska je tedy nutné, aby se dosedací plochy klínu stýkaly s drážkami na co nejvíce místech. Taková dodatečná úprava se nazývá lícování. Stykové plochy klínu s drážkou se vyrábějí frézováním. Povrch takto obrobené plochy se skládá z výrazných vrcholků a prohlubenin. Přiložením ploch k sobě zjistíme, že se stýkají pouze v některých místech. Před samotnou montáží je tedy nutné provést lícování klínů s klínovými drážkami. Pro úpravu dosedacích ploch se užívá metoda zaškrabávání (obr. 2.18) [25].



Obr. 2.18 Zaškrabávání plochy [25].

Zaškrabávání je velmi namáhavý a časově náročný způsob ručního obrábění ploch, kterým se dosahuje vysoké přesnosti rozměru, geometrického tvaru ploch a vysoké jakosti povrchu. Tímto způsobem obrábění se odebírají pouze tenké třísky 0,005–0,02 mm. Třísky se odebírají delšími tahy směrem dopředu. Pro zaškrabávání rovinných ploch se používá plochý škrabák (obr. 2.19). Tento nástroj se svým vzhledem podobá plochému pilníku. V současné době jsou rozšířené strojní škrabáky (obr. 2.20), které snižují námahu při zaškrabávání. Další snížení pracnosti lze docílit i přesnými rozměry a malými úchylkami vzájemné polohy obráběných ploch, které se mají zaškrabávat [26,24,28].

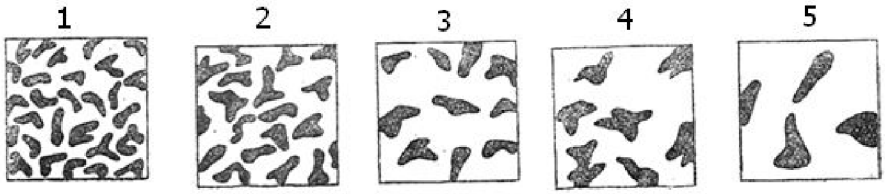
Obr. 2.19 Ruční škrabák [27].

Obr. 2.20 Elektrický univerzální škrabák [27].

Výsledná jakost zaškrabaných ploch se rozděluje do několika tříd uvedeny v tab. 2, které jsou určeny počtem dotykových plošek na ploše čtverce o straně 25 mm [26]. Vizualizace tříd zaškrabaných ploch je zobrazena na obr. 2.21.

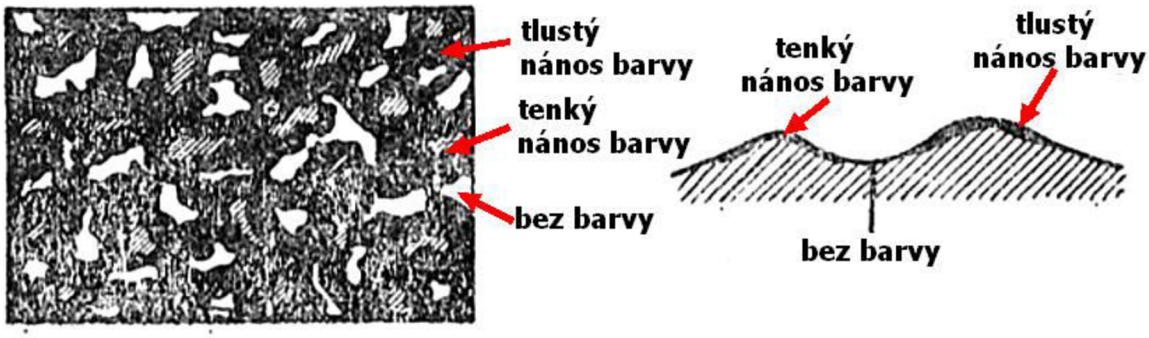
Tab. 2 Třídy jakosti zaškrabané plochy [26,28].

Třída jakosti	Počet dotykových plošek	Drsnost Ra [µm]	Příklady použiti	Přibližná pracnost na 100 cm^2 [min]
1	24–32	0,2	Přesné měřicí stroje, přístroje a měřidla.	675
2	14–22	0,2	Dílenské kontrolní přístroje a kontrolní nářadí.	510
3	9–12	0,4	Dílenské přípravky a vedení obráběcí ch strojů.	360
4	6–8	0,8	Vedení těžkých obráběcích strojů.	270
5	3–5	1,6	Vedení těžkých obráběcích strojů, víka skříní.	200



Obr. 2.21 Vizualizace tříd jakosti zaškrabaných ploch [27].

Zaškrabávání se začíná předběžným škrabáním pro odstranění stop po frézování. Následně se provádí kontrola s plochami drážek. Stykové plochy klínu se natírají příměrnou barvou (obr. 2.22) a následně se porovnávají s plochami drážky. Takto zjistíme vrcholky vystupující z obráběné plochy. Obarvené výstupky se zaškrabávají do té doby, než se dosáhne požadovaného počtu dotykových ploch [24,28].



Obr. 2.22 Plocha natřená příměrnou barvou [26].

3 NÁVRH ROZEBÍRATELNÉHO SPOJENÍ VÝSTŘEDNÍKOVÉ HŘÍDELE A NÁBOJE

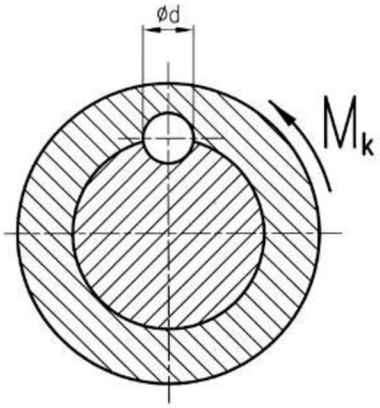
Při hledání vhodné technologické konstrukce pro spojení daných strojních součástí je nutné brát ohled na požadavky spojené s funkcí (výrobnost, hospodárnost, efektivita apod.), dále na požadavky týkající se výroby (hmotnost, volba materiálu, náklady na výrobu) a použití (bezpečnost, jednoduchá montáž a demontáž). Technologická konstrukce je tak souvislým propojením konstrukčních a technologických principů [29].

V předchozí kapitole byly rozebrány výhody a nevýhody použití klínového spoje pro spojení hřídele a ozubeného kola ve svislém kovacím lisu. Hlavní důvodem návrhu nového spojení je nákladná montáž a demontáž klínů. Náhradní spojení má odstraňovat tento problém a vzájemně zajistit bezpečnost provozu. Součástí návrhu je nezbytná pevností kontrola pro dané zatížení. Pevností kontrola je provedena i pro možnost spojení brzdy, jehož výroba není součástí této diplomové práce. Kontrola navrhnutých spojů je provedena analytickým výpočtem.

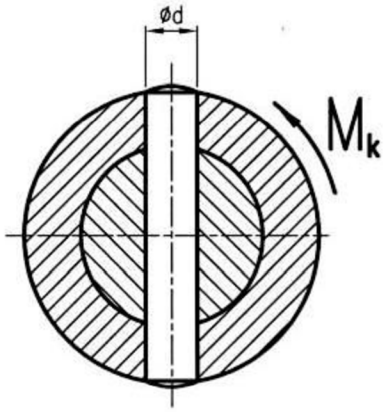
Výrobci tvářecí lisů nahrazují klínové spojení pro přenos krouticích momentů hřídelových součástí s náboji za sofistikovanější kolíkové spojení rozpěrným pouzdrem, které zaručuje snadnější montáž a demontáž. Další možnou variantou spojení pro přenos velkých zatížení je použití speciálních zajišťovacích zařízení, které se prodávají jako celek a montují se na spojované součásti. Pro náhradu spojení je proveden rozbor obou těchto variant spojení.

3.1 KOLÍKOVÉ SPOJENÍ

Kolíkové spoje patří do skupiny pevných rozebíratelných spojení. Kolíky se vkládají do připravených příčných otvorů ve spojovaných částech (obr. 3.1) nebo do podélných otvorů mezi spojovanými součásti (obr. 3). Následně pak slouží k zajištění přesné polohy nebo pro přenos zatížení dvou strojních součástí. Ve strojírenské výrobě se nejčastěji používají kolíky normalizované, které jsou vyráběné v mnoha rozměrech a provedení [30].



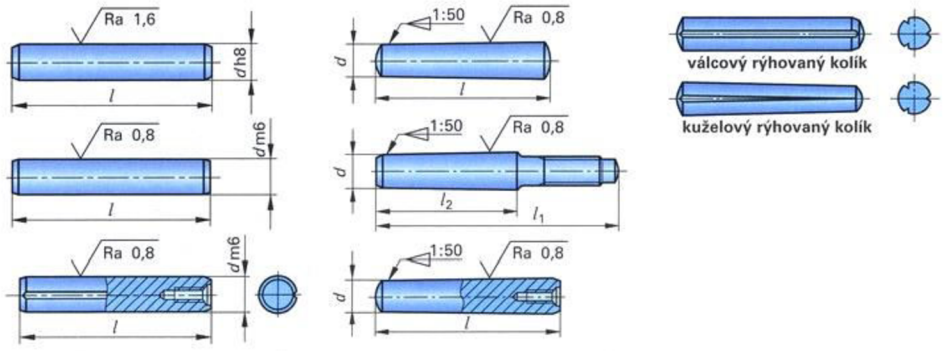
Obr. 3 Podélný kolík [31].



Obr. 3.1 Příčný kolík [31].

Kolíky lze rozdělit dle tvaru na kolíky válcové a kuželové (obr. 3.2). Válcové kolíky mají po celé délce konstantní průměr a vyrábějí se v provedení jako hladké nebo rýhované. Kuželové kolíky mají kuželovitost 1:50, která při spojení dvou součástí zaručuje samosvornost. Pro demontáž válcových nebo kuželových kolíků je potřeba, aby byly z demontážní strany opatřeny dírou s vnitřním závitem. Kuželové kolíky mohou být i v provedení s vnějším

závitem. Úpravou válcových a kuželových mohou vzniknout kolíky rýhované, které mají po svém obvodu tři podélné vruby [30, 32].



Obr. 3.2 Konstrukční varianty válcových a kuželových kolíků [32].

Použitím kuželových kolíků lze vytvořit velmi přesný, pevný spoj a zajišťující přesnou polohu spojených částí i pro opakované rozebíraní spoje. Nejsou však vhodné pro spoje, kde působí rázy a otřesy. Výhodou rýhovaných kolíků je, že nevyžadují přesné lícování díry a jsou odolnější proti uvolnění. Nejsou vhodné pro spoje, které jsou často rozebírány a pro spojení hliníkových součástí. Únosnost spojů s rýhovanými kolíky je v porovnání s válcovými a kuželovými kolíky o 20 až 30% nižší [30].

Kolíkové spojení vyžaduje výrobu vyhovujících děr pro vkládání kolíků. Díry pro kolíky se nejčastěji vrtají a následně vystružují na požadovanou rozměrovou toleranci. Pro spojení válcovými kolíky se používají uložení H7/n6, H7/m6, H7/p6. Díry pro kuželové kolíky se musí vystružovat v obou součástech současně a nejvíce používaná uložení jsou H7/n6, H7/m6, H7/p6. Pro spojení rýhovanými kolíky se používá uložení H11/h11, H12/h11. Jako materiál se používá neušlechtilá konstrukční ocel třídy 11 a pro kalené válcové kolíky ocel třídy 19 viz tab. 3[14,30].

Tab. 3 Materiály používané pro výrobu kolíků [14,33].

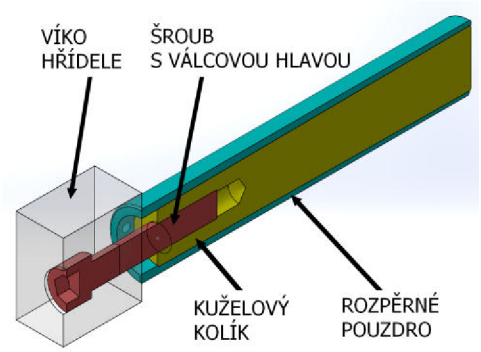
Typ kolíku	Značka oceli dle normy ČSN	Značka oceli dle normy EN nebo EN ISO
Válcové a kuželové kolíky	11 109	11SMn30
	11373	S235JRG1
	11443	S275JR
	11600	E335
Válcové kalené kolíky	11700	E360
	19421	115CrV3

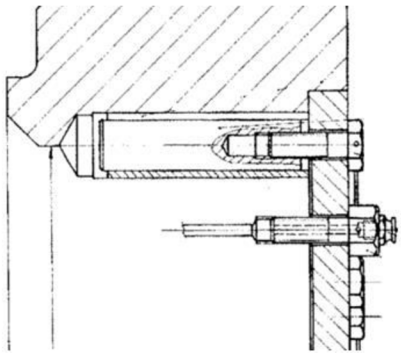
U navrhnutého kolíku je nutné provést kontrolu na působící zatížení. U spojení hřídele s náboje, kde je přenášen krouticí moment se obvykle provádí i doplňková kontrolka namáhání hřídele na krut.

3.2 NÁVRH KOLÍKOVÉHO SPOJENÍ

Pro přenos zatížení náboje na hřídel používá výrobce tvářených strojů složený kolíkový spoj, jelikož použití samotného válcového spárového kolíku není použitelné. Modifikace kolíkového spoje je založena na využití vlastností více prvků pro daný celek. Složený kolíkový spoj obsahuje tři součásti a to rozpěrné pouzdro, kuželový kolík a šroub (obr. 3.3). Sdružená součást spoje je stávající víko šroubované na čelo hřídele.

Rozpěrné pouzdro je válcového tvaru s vnitřním průchozím kuželovým otvorem o kuželovitosti stejné jako má kuželový kolík. Možnost rozpínání pouzdra je vytvořena jeho rozříznutím na celé podélné straně. Kuželový kolík je na zúžené straně opatřený otvorem s vnitřním závitem pro šroub. Tento kolík se vkládá do kuželového pouzdra a utahováním šroubu, který se opírá o plochu víka hřídele je kolík vtahován do rozpěrného pouzdra. Vtahováním kuželového kolíku se pouzdro rozpíná na rozměr vyvrtaného otvoru ve spojovaných součástech. Rozpínáním pouzdra vzniká silové působení na vnitřní povrch otvoru, které zabraňuje uvolnění složeného kolíku. Demontáž se provádí uvolněním šroubového spoje. Pokud nedojde k úplnému uvolnění kolíku, může být kolík částečně vyražen z pouzdra do připravené otvoru (obr. 3.4). Vytvořený spoj zaručuje snadnou montáž, demontáž a možnost opětovného použití všech spojovacích prvků.

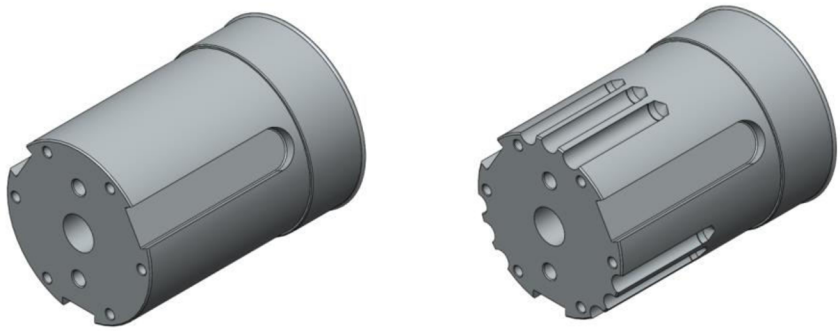




Obr. 3.3 Sestava kolíkového spoje. *Obr. 3.4 Schéma kolíkového spojení*

Spojované součásti svislého kovacího lisu přenášejí velké zatížení, a proto musí být provedeny pevností výpočty pro určení vhodných rozměrů kolíků a celkového počtu potřebných kolíků. Spojení těmito kolíky vyžaduje vyvrtání válcových děr společně do výstředníkové hřídele a náboje. Zde navrhuji spoj s uložením H7/h6.

Pro konstrukční návrh jsou zásadní rozměry rozpěrného pouzdra a materiály jednotlivých součásti. Velikost vnějšího průměru pouzdra ovlivňuje zeslabení průřezu hřídele a náboje, proto je důležité zvolit vhodný poměr vnějšího průměru a délky. V případě návrhu tohoto rozměru se bude vycházet z již odzkoušeného klínového spojení. Součtový rozměr drážky v hřídeli a náboji je 49,2 mm. Vnější průměr pouzdra je zvolen 42 mm. Vnitřní plocha bude kuželovitá s kuželovitostí 1:50 jako u vtahovaného kolíku. S ohledem na nástroje v daném firmě je délka rozpěrného pouzdra zvolena 210 mm a délka kuželového kolíku 200 mm. Z konstrukčního hlediska upravované hřídele je místo pouze pro 9 kolíků navrhovaného rozměru, jelikož možnosti použití více kolíků zabraňují otvory na čele (obr. 3.5.).



Obr. 3.5 Návrh úpravy výstředníkové hřídele pro spojení se spojkou.

3.2.1 VOLBA MATERIÁLU JEDNOTLIVÝCH SOUČÁSTÍ

Složený kolíkový spoj bude zatěžován velkým míjivým namáháním. Na plochu rozpěrného pouzdra bude při přenosu zatížení působeno velkými měrnými tlaky. Pro rozpěrné pouzdro je zvolena nízkolegovaná ušlechtilá ocel 51CrV4 s vysokou prokalitelností používaná pro velmi namáhané strojní díly. Vyznačuje se vysokými hodnotami meze únavy při střídavém namáhání. V zušlechtěném stavu má velmi příznivý poměr pevnosti k mezi kluzu, což je uvedeno v tab. 3.1. Pro zvýšení tvrdosti bude kalena a popuštěna na výslednou tvrdost 241 – 268 HB [34].

Tab. 3.1 Mechanické vlastnosti oceli 51CrV4 v zušlechtěném stavu [34].

Průměr [mm]	Re [MPa]	Rm [MPa]	A [%]	Z min. [%]	KV [J]
$40 < d \leq 100$	min. 700	900–1100	min. 12	min. 50	min. 30

Kuželové kolíky mají normalizovanou kuželovitost 1:50. Pro kolík je navrhnuta neušlechtilá konstrukční ocel E355, která se používá pro součásti namáhané staticky i dynamicky. Také je vhodná pro součásti vystavené velkému měrnému tlaku. Standardně se používá pro klíny, pera i kolíky. Mechanické hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.2 [14,35].

Tab. 3.2 Mechanické vlastnosti oceli E355[35]

Průměr [mm]	Re [MPa]	Rm [MPa]
$40 < d \leq 100$	Min. 325	600–720

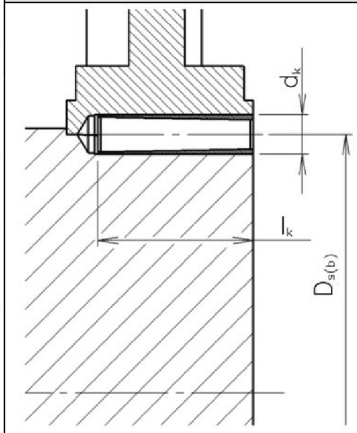
Kužel bude do pouzdra vtahován normalizovaným šroubem s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem (imbusové) M16 x 80 dle normy ČSN 02 1143.52, který bude nakupovanou položkou [14].

3.2.2 PEVNOSTNÍ KONTROLA

Kolíkové spoje se v závislosti na typu spoje kontrolují na smyk nebo na ohyb. Vzhledem k těsnému uložení sestavy kolíku lze ohybové namáhání zanedbat. Dále se kontroluje otlačení stykových ploch. U spojení hřídele s nábojem, které je zatíženo krouticím momentem se obvykle provádí doplňková kontrola namáhání hřídele na krut, která není v této části zakomponovaná. Pro přenos velkých zatížení je nutno použít více kolíků. Na spojení ořechu spojky bude použito celkem 9 složených kolíkových spojů. Pro spojení ořechu brzdy jsou

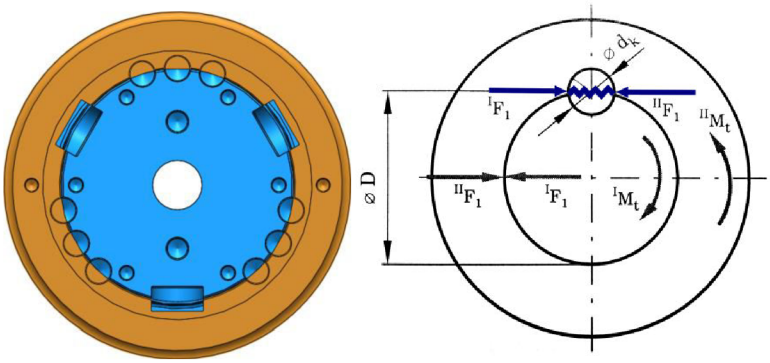
navrhnuty 4 složené kolíkové spoje. Kompletní návrh rozměrů pro daná zatížení je uveden v tab. 3.3. U obyčejných kolíkových spojů se vzhledem k těsnému uložení kolíků předpokládá rovnoměrné rozložení přenášeného zatížení. Tento spoj je však složen z kuželového kolíku, jehož plocha lícuje s vnitřní kuželovou plochou kužele. Výroba nezaručuje dokonalé lícování těchto ploch, a proto je nutné předpokládat nerovnoměrné rozložení přenášeného zatížení, pro které bude zaveden nutný koeficient [13,30].

Tab. 3.3 Vstupní hodnoty pro kontrolní výpočty.

Schéma	Popis	Ozn.	Hodnota
	Přenášený moment spojky	$M_{k(s)}$	811 000 N.m
	Přenášený moment brzdy	$M_{k(b)}$	126 000 N.m
	Roztečný průměr kolíků spojky	D_s	368 mm
	Roztečný průměr kolíků brzdy	D_b	280 mm
	Průměr kolíku (zvoleno)	d_k	42 mm
	Délka kolíku pro spojku (zvoleno)	$l_{k(s)}$	200 mm
	Délka kolíku pro brzdu (zvoleno)	$l_{k(b)}$	140 mm
	Počet kolíků pro spojku (zvoleno)	i_s	9
	Počet kolíků pro brzdu (zvoleno)	i_b	4
	Koeficient nerovnoměrného zatížení	k	0,8
	Dovolené napětí ve smyku	τ_{ds}	65 MPa
	Dovolený měrný tlak	p_d	120 MPa

Kontrola na smykové napětí:

Pevnostní kontrola bude provedena, jako by se jednalo o spoj s podélnými válcovými kolíky. Dovolené napětí ve smyku pro míjivé zatížení τ_{ds} = 65 MPa. Nákres uloženého kolíku se zatížením (obr. 3.6).



Obr. 3.6 Smykové zatížení kolíku [13].

Výpočet síly na jeden kolík dle vztahu (1):

$$F_1 = \frac{2 \cdot M_{k(s,b)} \cdot 10^3}{i \cdot D_{(s,b)} \cdot k} \ [N] \tag{1}$$

kde: $M_{k(s)}$ [N.m] – přenášený moment spojky

$M_{k(b)}$ [N.m] – brzdný moment

$D_{(s,b)}$ [mm] – roztečný průměr kolíků

$i_{(s,b)}$ [mm] – počet kolíků

k [-] – koeficient nerovnoměrného zatížení

Výpočet síly na jeden kolík (spojka):

$$F_s = \frac{2 \cdot 811000 \cdot 10^3}{9 \cdot 368 \cdot 0{,}8} = 612168 \quad [N]$$

Výpočet síly na jeden kolík (brzda):

$$F_b = \frac{2 \cdot 126\,000 \cdot 10^3}{4 \cdot 280 \cdot 0{,}8} = 281250 \quad [N]$$

Smykové napětí kolíku dle vztahu (2):

$$\tau_{s(sb)} = \frac{F_{(s,b)}}{S} = \frac{F_{(s,b)}}{d_k \cdot l_{k(s,b)}} [MPa] \tag{2}$$

kde: S [mm^2] – smyková plocha

d_k [mm] – průměr kolíku

$l_{k(s,b)}$ [mm] – délka kolíku

Kontrolní výpočet kolíku na smykové napětí (spojka):

$$\tau_{s(s)} = \frac{F_s}{S} = \frac{612168}{42 \cdot 200} = 73\ MPa$$

$$\tau_s \geq \tau_{ds} \rightarrow \boldsymbol{nevyhovuje}$$

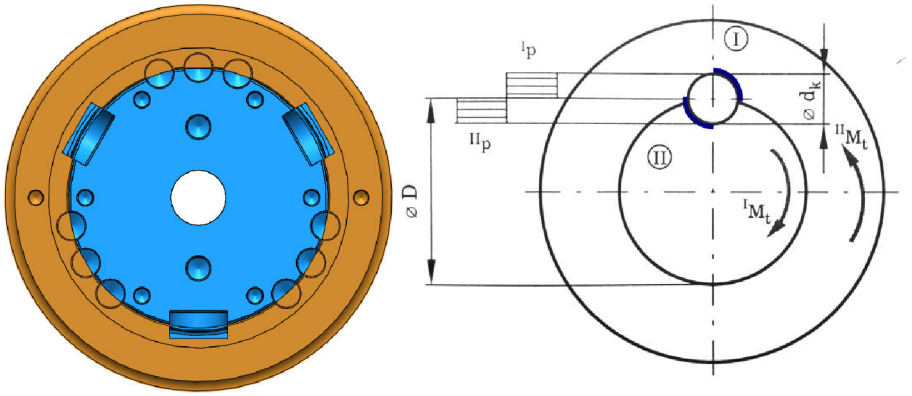
Smykové napětí v kolíku (brzda):

$$\tau_{s(b)} = \frac{F_b}{S} = \frac{281250}{42 \cdot 140} = 48\ MPa$$

$$\tau_s \leq \tau_{ds} \rightarrow \boldsymbol{vyhovuje}$$

Kontrola na otlačení:

Měrný tlak na kolík se vypočte z podílu síly a plochy průměru zatížené plochy do roviny kolmé ke směru síly dle vztahu (3). Zatížení kolíku měrným tlakem je zobrazeno na obr. 3.7 [13].



Obr. 3.7 Otlačení kolíku [13].

Měrný tlak na kolík dle vztahu (3):

$$p = \frac{2 \cdot F_{(s,b)}}{S} = \frac{2 \cdot F_{(s,b)}}{d_k \cdot l_{k(s,b)}} [MPa] \tag{3}$$

kde: F_s [N] – zatěžující síla na jeden kolík (spojka)

F_b [N] – zatěžující síla na jeden kolík (brzda)

S [mm^2] – průmět zatížené plochy

d_k [mm] – průměr kolíku

$l_{k(s,b)}$ [mm] – délka kolíku

Kontrolní výpočet kolíku na měrný tlak (spojka):

$$p = \frac{2 \cdot F_s}{S} = \frac{2 \cdot F_s}{d_k \cdot l_{k(s)}} = \frac{2 \cdot 612168}{42 \cdot 200} = 146\ MPa$$

$$p \geq p_d \rightarrow \boldsymbol{nevyhovuje}$$

Kontrolní výpočet kolíku na měrný tlak (brzda):

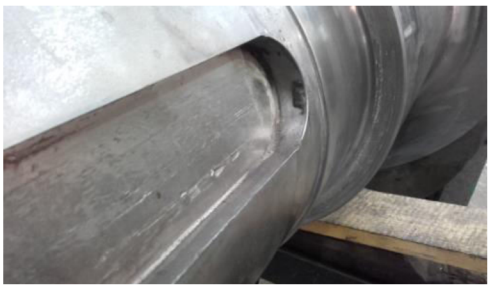
$$p = \frac{2 \cdot F_b}{S} = \frac{2 \cdot F_b}{d_k \cdot l_{k(b)}} = \frac{2 \cdot 281250}{42 \cdot 140} = 89\ Mpa \rightarrow vyhovuje$$

$$p \leq p_d \rightarrow \boldsymbol{vyhovuje}$$

Navrhované kolíkové spojení výstředníkové hřídele a spojky nesplňuje podmínku pro dovolené napětí ve smyku a otlačení. Tento problém by mohl být řešen zvětšením průměru a délky kolíků. Zvětšením vnějšího průměrů kolíků, ale dochází k dalšímu zeslabení průřezu hřídele. Zvětšování délky kolíku a pouzdra zhoršuje vyrobitelnost rozpěrného pouzdra, kolíku a potřebných otvorů. Další nevýhodou navrhnutého spojení je pozůstatek drážek šířky 80P9 po předchozím spojení klíny. Tyto nevyužité drážky budou vytvářet konstrukční koncentrátory napětí. Z tohoto hlediska je nutné využít dosavadní drážky a navrhnout kombinované spojení kolíky a pery.

3.2.3 NÁVRH KOMBINOVANÉHO SPOJENÍ KOLÍKY A PERY

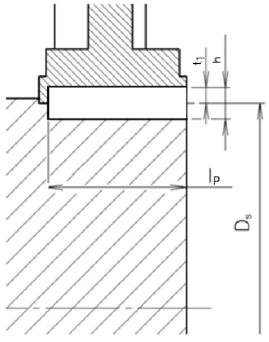
Spojení perem patří k dalšímu způsobu vytvoření rozebíratelného spojení, které je používané k přenosu rotačního pohybu z hřídele na náboj. Zatížení je na rozdíl od klínu přenášeno bočními plochami per a je nutné, aby tyto boky lícovaly s drážkou. Tvar pera je podobný klínu, ale nemá úkos na horní ploše. Mezi horní plochou pera a drážky je vůle a nedochází k radiálnímu působení na náboj jako v případě použití klínů. Z důvodu předchozího otlačení drážky (obr. 3.8) navrhuji prohloubení a zvětšení šířky původní drážky 80P9 na 82P9. Délka pera 385 mm je dána předchozí drážkou. Navrhuji použití pera 82 x 40 x 385 mm a výroby otvoru se závitem M20x40 mm na čelní ploše pro možnost demontáže. Prodejci hutních materiálu nabízejí pro pera ocel E355 taženou za studena s rozměrovými úchylkami h9 pro šířku a h11 pro tloušťku [10,13,14].



Obr. 3.8 Stav drážky po demontáži klínu.

Samotné spojení perem však nelze použít, protože vzniká radiální vůle mezi drážkou a nábojem, která umožňuje radiální pohyb náboje, což je nepřípustné. Tento problém lze vyřešit kombinovaným spojením s kolíky, kde nevzniká vůle a dochází k vystředění obou spojovaných součástí. Vstupní hodnoty pro kontrolní výpočty jsou uvedeny v tab. 3.4.

Tab. 3.4 Vstupní hodnoty pro kontrolní výpočty.

Schéma	Popis	Ozn.	Hodnota
	Přenášený moment spojky	$M_{k(s)}$	811 000 N.mm
	Roztečný průměr kolíků spojky	D_s	368 mm
	Šířka pera	b	82 mm
	Výška pera	h	40 mm
	Délka pera	l_p	385 mm
	Otlačovaná výška pera	t_1	17,5 mm
	Počet per	n_p	3
	Dovolené napětí ve smyku	τ_{ds}	70 MPa
	Dovolený měrný tlak	p_d	110 MPa

Kontrolní výpočet per na smyk (4):

$$\tau_s = \frac{F}{S_p} = \frac{\frac{M_{k(s)} \cdot 10^3}{\frac{D_s}{2}}}{b \cdot l_p \cdot n_p} \; [MPa] \tag{4}$$

kde: $M_{k(s)}$ [N] – přenášený moment spojky

F [N] – působící síla

D_s [mm] – roztečný průměr kolíků spojky

S_p [mm^2] – smyková plocha

b [mm] – šířka pera

l_p [mm] – délka pera

Kontrolní výpočet per na smyk (spojka):

$$\tau_s = \frac{F}{S_p} = \frac{\frac{M_k \cdot 10^3}{\frac{D_s}{2}}}{b \cdot l_p \cdot n_p} = \frac{\frac{811\,000 \cdot 10^3}{\frac{368}{2}}}{82 \cdot 385 \cdot 3} = 46{,}5\ MPa$$

$$\tau_s \leq \tau_{ds} \rightarrow \boldsymbol{vyhovuje}$$

Kontrolní výpočet per na otlačení (5):

$$p = \frac{F}{S_p} = \frac{\frac{M_{k(s)} \cdot 10^3}{\frac{D_s}{2}}}{l_p \cdot t_1} \; [MPa] \tag{5}$$

kde: t_1 [mm] – otlačovaná výška pera

Kontrolní výpočet per na otlačení (spojka):

$$p = \frac{F}{S_p} = \frac{\frac{M_k \cdot 10^3}{\frac{D_s}{2}}}{l_p \cdot t_1 \cdot n_p} = \frac{\frac{811\,000 \cdot 10^3}{\frac{368}{2}}}{17{,}5 \cdot 380 \cdot 3} = 221\ MPa$$

$$p \geq p_d \rightarrow \boldsymbol{nevyhovuje}$$

Pro kontrolní výpočet kombinovaného spojení na smyk byl z rovnic (2) a (4) sestaven vztah (6):

$$\tau_s = \frac{F}{S_k + S_p} = \frac{\frac{M_k \cdot 10^3}{\frac{d}{2}}}{(d_k \cdot l \cdot i \cdot k) + (b \cdot l_p \cdot n_p)} \ [MPa] \tag{6}$$

Kontrolní výpočet kombinovaného spojení na smyk (spojka):

$$\tau_s = \frac{\frac{M_k \cdot 10^3}{\frac{d}{2}}}{(d_k \cdot l \cdot i \cdot k) + (b \cdot l_p \cdot n_p)} = \frac{\frac{811\,000 \cdot 10^3}{\frac{368}{2}}}{(42 \cdot 200 \cdot 9 \cdot 0{,}8) + (82 \cdot 385 \cdot 3)} = 28\ MPa$$

$$\tau_s \leq \tau_{ds} \rightarrow \boldsymbol{vyhovuje}$$

Pro kontrolní výpočet kombinovaného spojení na otlačení byl sestaven z rovnic (3) a (5) vztah (7):

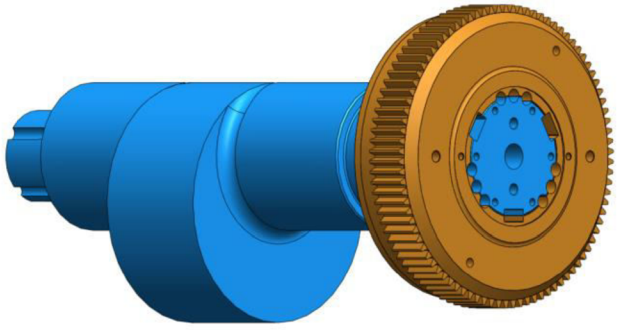
$$p = \frac{F}{S_k + S_p} = \frac{\frac{M_k \cdot 10^3}{\frac{d}{2}}}{\frac{(d_k \cdot l \cdot i \cdot k)}{2} + (t_1 \cdot l_p \cdot n_p)} \ [MPa] \tag{7}$$

Kontrolní výpočet kombinovaného spojení na otlačení (spojka):

$$p = \frac{\frac{M_k \cdot 10^3}{\frac{d}{2}}}{\frac{(d_k \cdot l \cdot i \cdot k)}{2} + (t_1 \cdot l_p \cdot n_p)} = \frac{\frac{811\,000 \cdot 10^3}{\frac{368}{2}}}{\frac{(42 \cdot 200 \cdot 9 \cdot 0{,}8)}{2} + (17{,}5 \cdot 385 \cdot 3)} = 87\ MPa$$

$$p \leq p_d \rightarrow \boldsymbol{vyhovuje}$$

Návrh kombinovaného spojení (obr. 3.9) výstředníkové hřídele a ořechu spojky pomocí per a kolíků vyhovuje kontrolním výpočtům na dovolený smyk a otlačení.



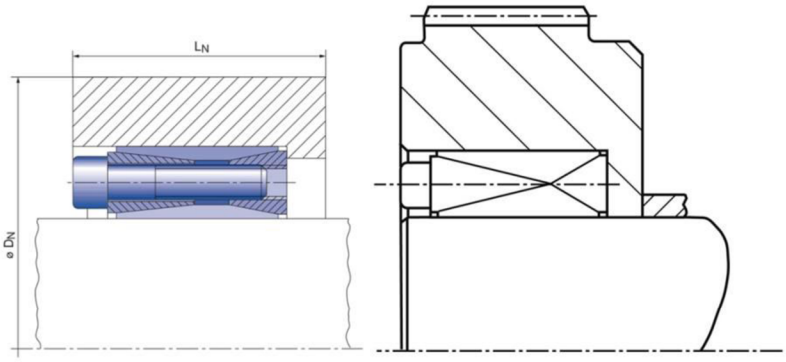
Obr. 3.9 Návrh nového spojení.

3.3 NÁVRH SPOJENÍ ZAJIŠŤOVACÍM ZAŘÍZENÍM RINGFEDER

Zajišťovací zařízení RINGFEDEDER s patentovanou technologií funkce se nejčastěji používají v aplikacích ve všeobecném strojírenství pro přenos vysokých momentů otáčení a axiálních zatížení (obr. 3.10). Jsou vyráběna v mnoha provedeních pro různou škálu použití. Jedním z typů je RINGFEDER s označením RfN 7014, který má relativně dlouhé provedení. Používá pro přenos momentového zatížení u těžkých strojů [36].

Obr. 3.10 Zajišťovací zařízení RINGFEDER [36].

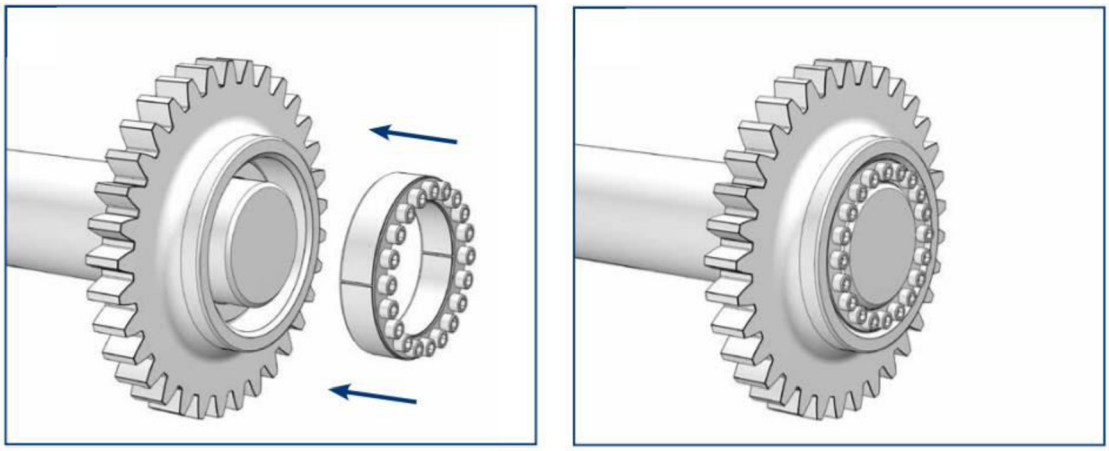
Tento typ zařízení se skládá ze dvou dělených centrálních kuželových kroužků a dvou přítlačných kuželových kroužků se šroubovým spojením. Celá sestava zařízení se vkládá mezi hřídel a náboj (obr. 3.11). Dotahováním jednotlivých šroubů se vtahují přítlačné kroužky a vlivem klínového tvaru těchto prvků dochází k rozpínání centrálních kroužků. Šrouby je nutno dotahovat vždy křížovým způsobem dle předepsaného postupu a utahovacího momentu od výrobce. Tímto způsobem se vytvoří velká přítlačná síla na hřídel i náboj. Vzniká tak pevný spoj pro přenos velkých a střídavých zatížení, který lze snad montovat a demontovat. Pro zvýšení přenosu krouticího momentu je možné použít více pojistných zařízení za sebou. Výrobce u každého typu uvádí, kolik jich je možné použít v sérii. Výsledná soustřednost je určena soustředností mezi hřídelem a nábojem [36].



Obr. 3.11 Použitý RINGFEDER v řezu [36].

Pro použití tohoto spojovacího zařízení musí byt zohledněna konstrukce spojovaných součástí, případě upravena (obr 3.12). Nejdřív se určí rozměry pojistného zařízení a poté se navrhnou spojované součásti. Výrobci doporučují montážní tolerance pro hřídel k9-h9 a pro náboj N9-H9. Požadovaná drsnost dosedacích ploch spojovaných součástí je Ra $\leq$ 3,2 µm.

Před montáží musí být všechny dosedací plochy včetně pojistného zařízení důkladně očištěny a naolejovány [36].

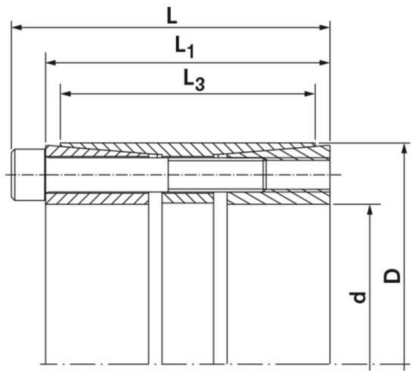


Obr. 3.12 Umístění RINGFEDERU [36].

Návrh spojení zajišťovacím zařízením pro spojované součásti:

Volba zajišťovacího zařízení se odvíjí od požadovaného přenosu zatížení. Přenášený krouticí moment ořechu spojky na výstředníkovou hřídel je 811 000 N·m. Ořech spojky se bude nasazovat na koncový průměr hřídele s rozměrem 368 mm. Tyto dva údaje jsou stěžejní pro volbu zajišťovacího zařízení. Danému zatížení odpovídá RINGFEDER s vnitřním průměrem 500 mm a vnějším průměrem 595 mm. Z toho vyplývá, že nevýhodou tohoto zařízení je poměrně velký vnitřní a vnější průměr. Tento problém řeší nabízená modifikace označována jako zajišťovací zařízení ECOLOC (obr. 3.13). Tento pojistný prvek obsahuje navíc oddělený kroužek mezi přítlačnými kroužky (obr. 3.14), který prodlužuje celkovou délku. Výhodou toho typu jsou snížené rozměry vnějšího a vnitřního průměru. Varianta ECOLOC pro přenos požadovaného zatížení má rozměry 380×475×210 mm. Tento druh také nelze použít pro daný koncový průměr hřídele. Použití vyžaduje průměr hřídele 380 mm a na ořechu spojky vnitřní průměr 475 mm. Z tohoto důvodů není zařízení vhodné pro danou opravu stroje, jelikož by spojované dílce musely být navrhnuty speciálně pro zajišťovací zařízení.

Obr. 3.13 Zařízení ECOLOC [36].



Obr. 3.14 Řez zařízením ECOLOC [36].

3.4 VYHODNOCENÍ VARIANT

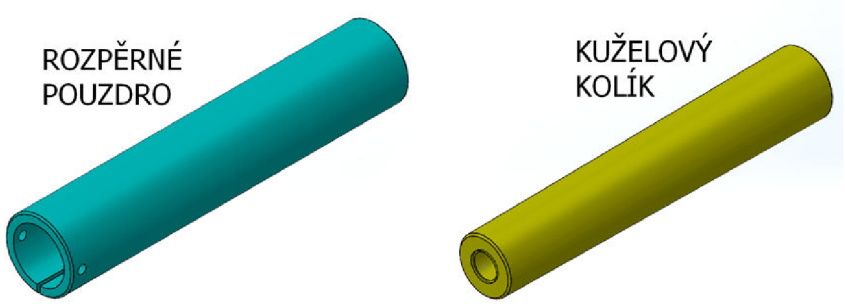
Pro náhradu dosavadního klínového spojení bylo navrhnuto kombinované spojení pomocí per a kolíků s rozpěrnými pouzdry, které bylo zkontrolováno pevnostními výpočty. Dále byla posouzena možnost použití nakupovaného zajišťovacího zařízení ECOLOC. Při volbě varianty je nutné brát v úvahu, že se jedná pouze o nutnou opravu s modernizací dosavadního stroje. Oprava a modernizace vyžaduje nutnou odstávku stroje, která pro zákazníka znamená značné finanční ztráty. Z těchto důvodů je nezbytné provádět tyto opravy v nejkratších možných časech. Pokud je to možné, je vhodné využít dosavadních součástí a jejich možnou úpravou. V případě opravy daného stroje je navrhnuto použít stávající výstředníkovou hřídel s náhradním dílem ořechu spojky.

Varianta použití zajišťovacího zařízení vyžaduje zvětšení koncového průměru hřídele a kompletní konstrukční úpravy ořechu spojky. Tento způsob je z hlediska opravy stroje zcela nevhodný. Touto variantou spojení je nutné se zabývat přímo u prvotního návrhu dané konstrukce součástí. Klínové spojení bude nahrazeno navrhnutým speciálně upraveným kolíkovým spojením a pery. Tento způsob spojení bude zeslabovat průřez hřídele podobně jako klínový spoj, ale predikuje se výrazně nižší doba montáže a demontáže. Nevýhodou tohoto spojení je složitější a zřejmě dražší výroba sestavy kolíkového spojení (rozpěrné pouzdro a kolík) než výroba samotných klínů. Pro přenos krouticího momentu z ořechu spojky na výstředníkovou hřídel bude celkem použito devět kolíkových spojů a tři pera. Ořech brzdy bude spojen s výstředníkovou hřídelí pouze čtyřmi kolíkovými spoji a dvěma pery. Rozdíl počtu kolíkových spojů a per je způsoben rozdílným zatížením krouticím momentem. Pro zvolený návrh spoje byla vytvořena výkresová dokumentace návrhu rozpěrného pouzdra (příloha 1), kuželového kolíku (příloha 2), úpravy dosavadní výstředníkové hřídele (příloha 3) a úpravy nového ořechu spojky (příloha 4).

4 VÝROBA DÍLŮ PRO KOLÍKOVÝ SPOJ

Výrobní proces je souhrn na sebe navazujících dílčích prací, které slouží k přeměně vstupního materiálu na hotový výrobek. Strojírenskou technologii lze jako výrobní proces rozčlenit na výrobu polotovarů součástí, výrobu hotových součástí a montáž strojů a zařízení. Základní cestou pro docílení nejoptimálnější technicko-ekonomické stránky výrobního procesu je vyhotovení účelného výrobního postupu. Výrobní postup předepisuje pořadí a počet jednotlivých operací, jenž musí být vykonány na pracovním předmětu. Nejčastěji je rozčleněn do oblasti přípravy polotovarů, zpracování součástí, montáž strojů a zařízení. Účelem výrobní postupu je zajistit dosažení stanovené jakosti výrobku se zřetelem na nejkratší dobu výroby a nejnižší výrobní náklady [37].

V následujících podkapitolách je proveden návrh jednotlivých polotovarů, návrh tepleného zpracování a rozbor nejdůležitějších obráběcích procesů. Výstupem je technologický postup pro oba vyráběné díly (obr. 4) dle požadavků výrobní firmy.



Obr. 4. Vyráběné díly kolíkového spoje.

4.1 NÁVRH POLOTOVARŮ

Polotovar je výchozí surovinou pro výrobu dané součásti. Významně se podílí na konečné ceně produktu. Z ekonomického hlediska je snahou navrhnout polotovar, který se tvarově a rozměrově přibližuje již hotové součásti. Volba druhu polotovaru je ovlivněna počtem vyráběných součástí, materiálem a způsobu opracování. Pro všeobecnou výrobu pouzder se nejčastěji jako polotovar používají přířezy z tyčového materiálu (hutní materiál tažený nebo válcovaný), trubky, výkovky nebo odlitky [37,38].

Rozpěrné pouzdro je navrhnuto z nízkolegované oceli 51CrV4 vhodné ke kalení. Podle výsledného tvaru pouzdra je nejvýhodnější variantou zvolit jako polotovar trubku. Výrobci hutních materiálu bohužel nenabízí ocelové trubky daného materiálu. Z tohoto důvodu jsou jako polotovar zvoleny přířezy z kruhové ocelové tyče válcované za tepla.

Kuželový kolík je navrhnutý z konstrukční oceli E355, která je vhodná pro součásti vystavené vysokému tlaku. Podle výsledného tvaru jsou pro polotovar zvoleny přířezy z kruhové ocelové tyče válcované za tepla.

Přídavky na obrábění:

Přídavky na obrábění je možné stanovit empirickým nebo technickým výpočtem. Výhodou empirického vztahu oproti technickým vztahům je jednoduchost a rychlost, která je však spojená s větší nepřesností. Technickým propočtem lze stanovit velice přesnou hodnotu potřebného přídavku. Tento propočet je vhodný zvolit při velké sériovosti výroby, kde velikosti nákladů vynaložených na obrábění hraje významnou roli [37,38].

Pro určení normalizovaného polotovaru je nutné stanovit přídavky pro obrábění. Empirický postup stanovení přídavků vychází z maximálního průměru součásti dle vztahu (8):

$$p_c = 0{,}05 \cdot d_{smax} + 2 \ [mm] \tag{8}$$

kde: d_{smax} [mm] – největší průměr součásti

$$p_{c(pouzdro)} = 0{,}05 \cdot 42 + 2 = 4{,}1 \ mm$$

$$p_{c(kolík)} = 0{,}05 \cdot 36 + 2 = 3{,}8 \ mm$$

Pro výpočet výsledného průměru polotovaru se empiricky získané přídavky připočítají k maximálnímu průměru součásti dle vztahu (9):

$$d_{pv} = d_{smax} + p_c \tag{9}$$

kde: p_c [mm] – přídavek na průměr

$$d_{pv(pouzdro)} = 42 + 4{,}61 = 46{,}1 \ mm$$

$$d_{pv(kolík)} = 36 + 3{,}8 = 39{,}8 \ mm$$

Navrhnutý polotovar musí splňovat podmínku:

$$d_p \geq d_{pv}$$

kde: d_{pv} [mm] – největší průměr součásti s přídavkem

Pro splnění podmínky $d_p \geq d_{pv}$ je dle nabídky prodejce hutného materiálu volen nejbližší vyšší průměr.

$$d_{pv(pouzdro)} = 46{,}1 \ mm \rightarrow zvoleno \ 50mm$$

Zvolena tyč ocelová kruhová válcovaná za tepla o průměr 50 mm (EN 10060).

$$d_{pv(kolík)} = 39{,}8 \ mm \rightarrow zvoleno \ 40mm$$

Zvolena tyč ocelová kruhová válcovaná za tepla o průměr 40 mm (EN 10060).

Navrhnutý materiál nabízí společnost FERONA a.s., v délkách po 3000 mm [39].

4.2 DĚLENÍ MATERIÁLU

Polotovarem pro navrhované pouzdro a kuželový kolík je tyčový válcovaný polotovar, který bude před obráběním rozřezán dle požadované délky. Na celkovou délku je zvolen celkový přídavek 5 mm. Polotovary je možno dělit různými metodami např. řezáním pilou, plamenem, laserem nebo stříháním, lámáním apod. Pro řezání tyčových polotovarů se nejčastěji užívají pily pásové, rámové a kotoučové [17].

Skladový areál prodejní společnosti hutního materiálu je vybaven pracovištěm na dělení tyčového materiálu řezáním. Tato služba bude využita a bude objednán požadovaný počet přířezů o dané délce (obr. 4.1) [39].

Obr. 4.1 Přířezy z kruhové tyče.

4.3 KALENÍ A POPOUŠTĚNÍ

Kalení je tepelné zpracování materiálu. Provádí se za účelem zvýšení tvrdosti oceli, vytvořením částečně nebo zcela nerovnovážné struktury. Probíhá ohřevem daného dílce nejčastěji v peci na teplotu 20–50°C nad křivkou Ac_3 popř. nad Ac_1 u nadeutektoidních ocelí. Na této teplotě je nutná výdrž, aby došlo k austenitizaci a rozpustil se ferit a perlit, případně i část karbidů v austenitu. Následně se provádí ochlazení nadkritickou rychlostí, při kterém vznikají metastabilní struktury martenzit a bainit. Pro stanovení austenitizační teploty podle rovnovážného diagramu Fe – C. Průběh dějů při ochlazování se určuje podle ARA diagramů daných ocelí. S metodou tepelného zpracování kalením souvisí pojmy kalitelnost a prokalitelnost [40,41].

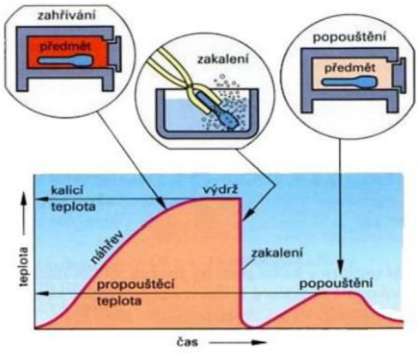
Kalitelnost je schopnost oceli dosáhnout vyšší tvrdosti. Dosažitelná tvrdost je především závislá na obsahu uhlíku. Dobře kalitelné oceli jsou ty, které obsahují více než 0,35% uhlíku. Oceli obsahující méně než 0,2% uhlíku nelze zakalit [40,41].

Prokalitelnost je schopnost oceli dosáhnout určité tvrdosti do určité hlouby od povrchu. Za zakalenou část považujeme takovou, která je tvořena nejméně 50% martenzitu [40,41].

Kalící prostředí (ochlazovací) určuje ochlazovací křivky v ARA diagramu. Jako kalící prostředí se používá voda, olej, soli a vzduch. Voda je nejrychlejší prostředí pro ochlazování. Používá se u ocelí s nízkou prokalitelností a velkým průřezem. Nevýhodou je tvořící se parní polštář na povrchu při ponořování, který zpomaluje chlazení. Pro zkrácení této doby je nutný pohyb předměty v kalícím médiu. Další nevýhodou jsou velké vnitřní pnutí a deformace materiálu. Olej se používá se zejména u legovaných ocelí. Průběh je podobný jako u vody. Při použití soli dochází nejdřív k rychlému ochlazování a následuje pomalejší ochlazování. Výhodou je, že se netvoří parní polštář. Používá se pro dílce s požadavkem na velmi nízké

vnitřní pnutí. Vzduch je nejmírnější kalící prostředí a používá se u tzv. samokalitelných ocelí. Rychlost ochlazování lze zvýšit ventilací nebo tlakem vzduchu [40,41].

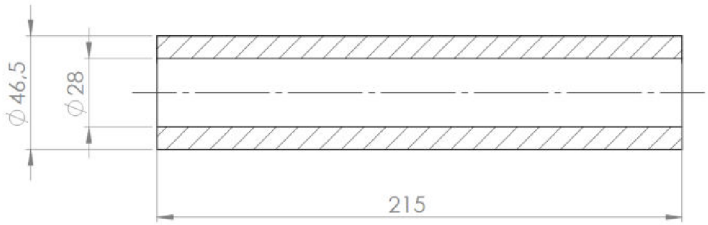
Popouštění je tepelné zpracování používané po kalení (obr. 4.2). Podstatou je ohřev zakalené oceli na teplotu pod Ac_1, výdrž na této teplotě a následné pomalé ochlazování. Popouštění se rozděluje na popouštění za nízkých teplot (do teploty 300°) a za vyšších teplot (od 350 °C do teploty pod Ac_1) [40,41].



Obr. 4.2 Metodika kalení a následného popouštění [32].

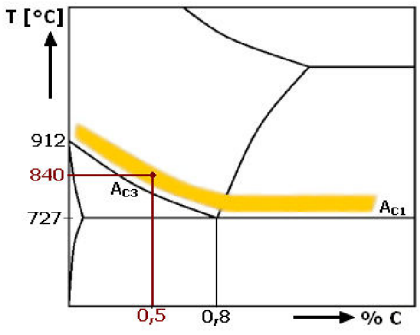
4.3.1 NÁVRH TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ ROZPĚRNÉHO POUZDRA

Navrhované pouzdro pro kuželový kolík z nízkolegované ušlechtilé oceli 51CrV4 bude zakaleno a popuštěno na hodnotu tvrdosti 241–268 HB. Tyčový polotovar bude od prodejce hutního materiálu dodán ve stavu žíhaném na měkko. Po vstupní kontrole materiálu bude před tepelným zpracováním pouzdro hrubováno soustružením vnějšího povrchu na průměr 46,5 mm a předvrtáno otvorem v celé délce o průměru 28 mm (obr 4.3).



Obr. 4.3 Soustružené rozpěrné pouzdro.

Kalící neboli austenitizační teplota se určuje pomocí rovnovážného diagramu Fe – C. Pro určení je nutné znát chemické složení zpracovávané oceli, které je uvedeno v tab. 4. Na vodorovné ose s hmotným obsahem uhlíku nalezneme bod s obsahem uhlíku pro danou ocel (0,5%C) a vyneseme svislou čáru 20–50 °C nad křivku Ac_3. Ze získaného bodu vyneseme vodorovnou čáru na osu teploty a zapíšeme. Dané oceli odpovídá kalicí teplota 840 °C (obr. 4.4).



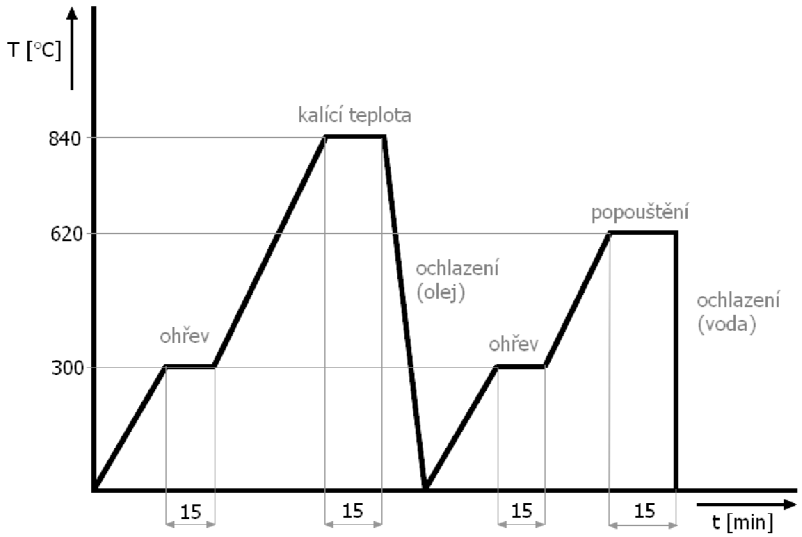
Obr. 4.4 Volba kalící teploty.

Tab. 4. Chemické složení oceli 51CrV4 [34].

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	V
Chemické složení v hmot. %	0,47–0,55	max. 0,40	0,70–1,1	max. 0,025	max. 0,035	0,90 – 1,20	0,10–0,25

Při ukládání do elektrické pece je nutné zohlednit možné deformace a podle toho dílce zatížit. Dobu výdrže na zvolených teplotách je obtížné přesně určit. Základním faktorem při určování doby výdrže je velikost průřezu součásti a chemické složení materiálu. Výrobní podnik pro danou ocel s podobným tvarem počítá 1,5 minuty na 1 mm průřezu součásti. Průřez stěny pouzdra má tloušťku 9,25 mm. Tato hodnota zhruba odpovídá 15 minutové výdrži. Dílce budou vkládány do předehřáté elektrické pece na max. teplotu 300 °C, kde budou ohřívány po dobu 15 minut. Následuje ohřev na austenitizační teplotu 850 °C. Při nastavení vyšší austenitizační teploty dochází k hrubnutí austenitizačního zrna, což zhoršuje mechanické vlastnosti materiálu. Po dosažení této teploty, budou pouzdra dále ohřívány 15 minut. Poté budou vytaženy a uložené v koši rychle vloženy do kalícího média, tak aby pokles výchozí teploty byl minimální.

Firma Bohdan Bolzano uvádí jako vhodné kalící médium olej nebo roztoky syntetických polymerů [34]. Použití kalícího média závisí na chemickém složení, které upravuje ARA diagram. Koš s dílci bude ponořen do oleje s opakovaným pohybem zdola vzhůru za účelem zkrácení období parního polštáře. Po ochlazení bude provedena kontrola tvrdosti a popřípadě upravena popouštěcí teplota. Dílce následně opět vložíme do vyhřáté pece na max. teplotu 300 °C, kde budou ohřívány po dobu 15 minut. Následuje ohřev na popouštěcí teplotu 620 °C a výdrž 15 minut. Následné ochlazování bude prováděno ve vodě. Navrhnutý způsob je shrnut v tepelném diagramu (obr. 4.5).

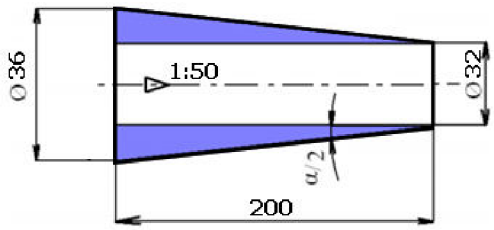


Obr. 4.5 Návrh kalení a popouštění rozpěrného pouzdra.

4.4 SOUSTRUŽENÍ KUŽELOVÝCH PLOCH

Kuželové plochy se na výkrese určují zakótováním kuželovitosti nebo sklonem a vyjadřují se ve formě poměru (1:X). Ze zadané kuželovitosti nebo sklonu se vypočítá úhel sklonu kužele nebo se určí z tab. 4.1. Úhel sklonu kužele α/2 je polovina vrcholového úhlu kužele α, který svírají dvě protilehlé povrchové úsečky (obr. 4.6) [42].

Rozeznáváme kužel přímý nebo komolý. V případě rozpěrného pouzdra a kuželového kolíku se jedná o součásti tvaru komolého kuželu s kuželovitostí 1:50 určené podle tab. 4.1.



Obr. 4.6 Kuželový kolík.

Výpočet úhlu sklonu kužele dle vztahu (10):

$$tg\alpha = \frac{K}{2} \tag{10}$$

kde: K [–] – kuželovitost

$$tg\frac{\alpha}{2} = \frac{\frac{1}{50}}{2} = 0{,}572938 \rightarrow \alpha = 0°34'23''$$

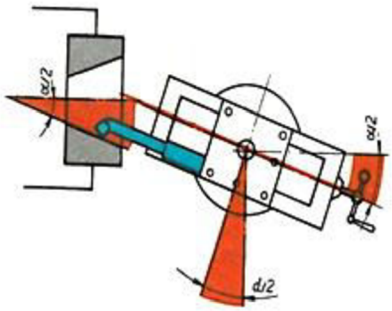
Tab. 4.1 Kuželovitost a úhel sklonu kužele dle ČSN 01 0204 [42].

Kuželovitost	Vrcholový úhel α	Úhel sklonu kužele α/2	Aplikace
1 : 0,866	60°	30°	středící vrták, upínací hrot
1 : 10	5°43´30´´	2°51´45´´	rozpínací pouzdra trnů, čepy spojek
1 : 20	2°51´52´´	1°25´56´´	stopky a dutiny nástrojů, dutiny vřeten obráběcích strojů
1: 20,020	2°51´40´´	1°25´50´´	stopky a dutiny nástrojů, dutiny vřeten obráběcích strojů tzv. Morse kužel
1 : 50	**1°08´45´´**	**0°34´23´´**	**kuželové kolíky**

Kuželové plochy se na konvečním soustruhu dají soustružit pootočením nožových saní, vysunutím koníku z osy soustružení, použitím vodícího (kopírovacího) pravítka nebo kuželovými výhrubníky. Volba způsobu soustružení kuželových ploch závisí na jejich umístění (vnější nebo vnitřní plochy), délce, požadovaného povrchu po obrobení a počtu vyráběných kusů. Alternativou použití konvečního soustruhu je soustružení kuželových ploch

na číslicově řízeném stroji [24,43]. Snahou výrobního podniku je využití kapacit konvečních soustruhů a z toho důvodu budou rozebrány varianty soustružení kuželových ploch na těchto strojích.

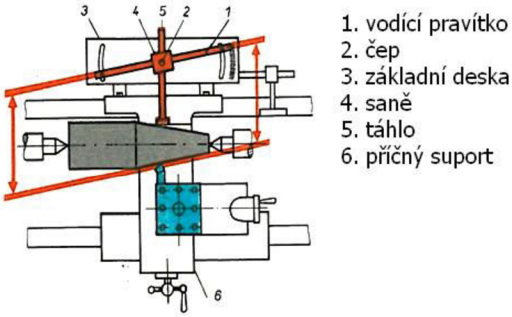
Soustružení kuželových ploch pootočením nožových saní se používá pro výrobu krátkých, vnějších i vnitřních kuželových ploch. Pohyb nástroje je rovnoběžný s přední povrchovou úsečkou kužele. Nevýhodou je nutnost použití ručního posuvu, jenž má zhoršující vliv na výslednou drsnost obrobené plochy. Provádí se natočením nožových saní o úhlem α/2 (obr. 4.7). Nastavení nožových sání lze provádět několika způsoby. Jedním ze způsobů je nastavení vypočítaného úhlu na úhlové stupnici, která je na suportu. Přesnost nastavení na minuty se odhaduje. Další možností je použít k nastavení univerzální úhloměr. Pro kontrolu správného natočení saní se používá kuželový kalibr o požadované kuželovitosti, který se upne mezi hroty. Do nožové hlavy se upne číselníkový úchylkoměr, s kterým se následně podélně pojíždí po kalibru. Nastavení nožových saní je správné pokud se ručička úchylkoměru nevychyluje [42,43,44].



Obr. 4.7 Natočení nožových saní [42]

Vysunutí koníku z osy soustružení se používá jen pro dlouhé vnější kuželové plochy. Obrobek je upínán mezi hroty. Jeden hrot je upnutý ve vřetenu a jeden hrot upnutý v koníku. Krouticí moment je z pracovního vřetene na obrobek přenášen unášecím srdcem. Koník se příčně posunuje na spodní desce o vypočítanou vzdálenost nazývanou excentricita. Hodnota excentricity se nastavuje na milimetrové stupnici na stěně koníku. Kontrolu nastavení lze provést pomocí číselníkového úchylkoměru nebo měřením přesazení koníku se spodní deskou hloubkoměrem. Výhodou je možnost použití strojního posuvu [42,43,44].

Soustružení pomocí vodícího pravítka (obr. 4.8) se používá pro soustružení vnějších i vnitřních kuželových ploch s úhlem sklonu až 15°. Toto pravítko (obr. 4.9) je upevněno na konzolách na zadní straně stroje, kde se otáčí kolem čepu na základní desce. Po vodícím pravítku se posouvají saně spojené táhly s příčnými saněmi. Radiální pohyb příčných saní je umožněn po uvolnění posuvového šroubu, který se po nastavení zpětně dotáhne. Úhel sklonu se nastaví na základní desce s úhlovou stupnicí. Jedná se o snadné nastavení bez nutnosti přestavování koníku nebo nožových saní, což šetří čas. Pro lepší kvalitu obrobené plochy lze použít strojní posuv[42,43,44].



Obr. 4.8 Soustružení vodícím pravítkem [42].

Obr. 4.9 Vodící pravítko [43]

Kuželové výstružníky (obr. 4.10) se uplatňují při obrábění vnitřních kuželových ploch s malým vrcholovým úhlem. Princip spočívá v rozšiřování válcové díry. Výstružníky se nejčastěji používají v sadě o třech kusech (předhrubovací, hrubovací a hladící výstružník). Jako první se použije předhrubovací výstružník s přerušovanými zuby k největšímu odběru materiálu. Pro lepší tvar se kužel následně vyhrubuje hrubovacím výstružníkem. Konečnou operací je vyhlazení díry hladícím výstružníkem. Vnitřní kuželové plochy velkých průměru se kvůli časové náročnosti stupňovitě vysoustruží nebo předvrtají. Pro obrábění kuželovými výstružníky se volí stejné řezné podmínky jako pro obrábění válcovými výstružníky. Doporučené řezná rychlost je 5-7 $m.min^{-1}$ a posuv nástroje na otáčku se pohybuje v rozmezí 0,02 až 0,05 mm. Přídavek pro vystružování kuželových otvorů je 0,1–1 mm [42,44].

Obr. 4.10 Kuželový výstružník 1:50 [43].

Při soustružení kuželových ploch může docházet k výrobním nepřesnostem. Ty mohou být způsobeny vybranou technologií výroby, špatným stavem stroje, lidským faktorem atd. Přesnost vyrobených kuželových ploch se obvykle měří pomocí univerzálního úhloměru, kuželových kalibrů a šablon. Kuželové kalibry (obr. 4.11) se používají pro měření vnějších i vnitřních normalizovaných kuželových ploch ČSN 01 0204 [42].

Obr. 4.11 Kalibry kuželových ploch [44].

Volba stroje a způsobu soustružení kuželové plochy:

Kalené rozpěrné pouzdro má vnitřní kuželovou plochu, na kterou bude dosedat vnější kuželová plocha kolíku. Z toho důvodu mají tyto plochy stejnou kuželovitost 1:50, které dle ČSN 01 204 odpovídá vrcholový úhel 1°08´45´. Požadovaná hodnota drsnosti u obou ploch je Ra = 0,8 µm. Soustružení vnějšího a vnitřního kužele bude prováděno na univerzálním hrotovém soustruhu SV18RA/750.

Hlavní zásadou pro soustružení kuželových ploch je přesné upnutí obrobku a nastavení soustružnického nože do osy soustružení. Nastavení nože pod nebo nad osu způsobí, že výsledné povrchové úsečky kužele nebudou přímé, ale hyperbolické, což je nežádoucí. Používají se soustružnické nože s pájenou nebo vyměnitelnou břitovou destičkou. Řezné podmínky pro soustružení vnějších a vnitřních kuželových ploch pomocí vodícího pravítka se volí přibližně stejné jako u soustružení válcových ploch [42,43].

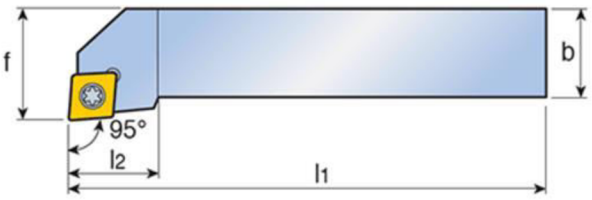
Vnější kuželovou plochu kolíku lze soustružit vysunutí koníku z osy soustružení nebo pomocí vodícího pravítka. Pro dosažení požadované drsnosti Ra = 0,8 µm musí být následně zařazena dokončovací operace (broušení) a z toho důvodu bude plocha soustružena s přídavkem 0,4 mm. Vnitřní kuželovou plochu rozpěrného pouzdra lze soustružit pomocí vodícího pravítka nebo kuželovými výstružníky.

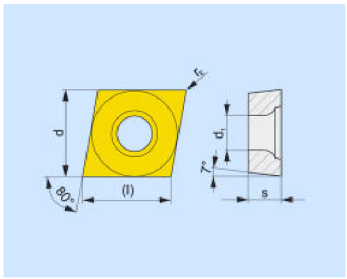
Z hlediska zjednodušení nastavení soustruhu je zvoleno soustružení vnější i vnitřní kuželové plochy pomocí vodícího pravítka. Soustružení vnější kuželové plochy pomocí vodícího

pravítka kolíku patří mezi jednoduché soustružnické operace, které musí ovládat každý soustružník a z tohoto důvodu nebude tato operace dále důkladně rozebírána.

Soustružení vnitřní kuželové plochy rozpěrného pouzdra je z hlediska kaleného materiálu o celkové délce 215 mm poněkud složitější operace. Vnitřní kuželové plochy s malým vrcholovým úhlem 1°08´45´ lze na soustruhu obrábět kuželovými výstružníky. Použitím kuželových výstružníků lze dosáhnou požadované drsnosti povrchu Ra = 0,8 µm a tím odpadá potřeba následné dokončovací operace (broušení). Pouzdro je před soustružením vnitřní kuželové plochy hrubované (s předvrtanou dírou v ose o průměru 28 mm) a tepelně zpracované kalením a popouštěním na hodnotu tvrdosti 241–268 HB. Před soustružením kuželové plochy bude otvor dále hrubován na průměr 30,8 mm. Následně bude soustružena kuželová plocha pomocí vodícího pravítka s přídavkem 0,3 mm pro možnost dokončení kuželovým výstružníkem.

Soustružení vnitřní kuželové plochy bude prováděno vnitřním ubíracím nožem držák S25S-SCLCR 09 (obr. 4.12) s průměrem držáku 25 mm. Pro daný držák je zvolena výměnná břitová destička s označením CCMT 09T302E-FM (obr. 4.13). Doporučované řezné podmínky pro zvolenou destičku jsou uvedeny v tab. 4.2. Jelikož se jedná o poměrně dlouhý obrobek (215 mm) a nástroj není dostatečně dlouhý, bude povrch soustružen z obou stran pouze do poloviny délky. Dokončení bude prováděno pouze jedním kuželovým výstružníkem nikoliv sadou. Výstružník bude na daném soustruhu upnutý do závitořezné hlavy a posuv bude ruční.





Obr. 4.12 Držák s vyměnitelnou břitovou destičkou [51]. Obr. 4.13 VBD CCMT 09T302E-FM [51].

Tab. 4.2 Doporučované řezné podmínky pro zvolenou VBD [51].

Tvar VBD	Označení ISO	Povlak	Rádius [mm]	Posuv na otáčku [mm^{-1}]		Šířka záběru ostří [mm]	
	CCMT 09T302E-FM	T9325	r_ε	f_{min}	f_{max}	$a_{p\ min}$	$a_{p\ max}$
			0,2	0,05	0,15	0,2	3

Volba řezných podmínek dle katalogu soustružení od firmy Pramet Tools s.r.o.:

Soustružení vnitřní kuželové plochy: řezná rychlost v_c = 270 m.min^{-1}, posuv na otáčku f = 0,05 mm, šířka záběru ostří a_p = 0,2 mm.

Výpočet otáček obrobku je určen ze vztahu (11):

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot d} [min^{-1}] \tag{11}$$

kde: v_c [m.min^{-1}] – řezná rychlost

d [mm] – průměr obrobku

$$n = \frac{v_c \cdot 60 \cdot 10^3}{\pi \cdot d} = \frac{270 \cdot 60 \cdot 10^3}{\pi \cdot 36} = 2387\ min^{-1} \rightarrow na\ stroji\ zvoleno\ 2400\ min^{-1}$$

Řezné podmínky pro kuželový výstružník: v_c = 5 m.min^{-1}, f → ruční, řezná kapalina (olej).

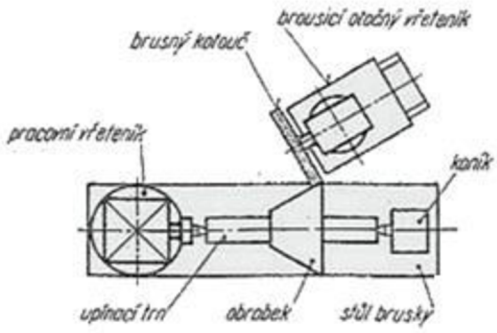
$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot d} = \frac{5 \cdot 10^3}{\pi \cdot 36} = 44\ min^{-1} \rightarrow na\ stroji\ zvoleno\ 50\ min^{-1}$$

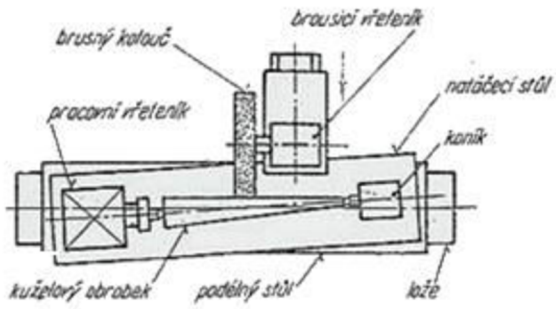
4.5 BROUŠENÍ KUŽELOVÝCH PLOCH

Kuželová plocha kolíku má předepsanou drsnost povrchu Ra = 0,8 µm a menší průměr má hodnotu 32+0,05 mm. Tyto hodnoty nelze soustružením dosáhnout a je potřebná dokončovací operace. Jako dokončovací operace obrábění po soustružení je zvoleno broušení, které umožňuje dosažení přesných rozměrů a tvarů s nízkou drsností povrchu (Ra = 1,6 až 0,2 µm). Broušení vyžaduje po soustružení přídavek 0,2 až 0,5 mm [24,46].

Stroje sloužící k broušení se nazývají brusky. Brusky na broušení válcových ploch se rozdělují hrotové, bezhrotové a na díry. K broušení vnějších kuželových ploch se používají brusky hrotové. Ty se rozdělují na brusky s posuvným stolem a brusky s posuvným brousicím vřeteníkem. Kuželové plochy lze na hrotových bruskách brousit nastavením horního stolu brusky, nastavením brousícího vřeteníku, nastavením pracovního vřeteníku nebo použitím brousícího kotouče kuželového tvaru.

Nastavením horního stolu brusky se používá pro dlouhé komolé kužely s malým vrcholovým úhlem. Provádí se natočením horní části stolu o úhel sklonu α/2 [46].





Obr.4.14 Broušení přestavením vřeteník [46]. *Obr.4.15 Broušení nastavení horního stolu [46].*

Broušení vnějších kuželových ploch na hrotových bruskách lze provádět nastavením brousícího vřeteníku (obr. 4.14) nebo pracovního vřeteníku (obr. 4.15). Přestavení se provádí o úhel sklonu α/2 [46].

Další možností jak brousit kuželové plochy je použít brousící kotouč požadovaného kuželového tvaru (obr. 4.16). Tato metoda se, ale používá pro broušení kuželů s velkým vrcholovým úhlem nebo pro broušení úkosů [46].

Obr.4.16 Brousící kotouč tvaru kužele [47].

Volba stroje a způsobu broušení kuželové plochy:

Kuželový kolík je poměrně dlouhý komolý kužel s malým vrcholovým úhlem α = 1°08´45´´. Broušení bude prováděno na univerzální hrotové brusce BU 28/630 (obr. 4.17) nastavením horního stolu brusky (obr. 4.18).

Obr.4.17 Hrotová bruska BU 28/630.

Obr.4.18 Nastavení úhlu stolu brusky.

K broušení poměrně dlouhých obráběných součástí jako je daný kolík se používá broušení podélným posuvem. Při této metodě se brousící kotouč a obrobek otáčejí ve stejném smyslu. Obvodová rychlost brousícího kotouče je 100 násobně vyšší než má obrobek. Šířka záběru ostří se pohybuje v rozmezí 0,001 až 0,08 mm. Rychlost posuvu se volí podle šířky brousícího kotouče [24,46].

Volba nástroje:

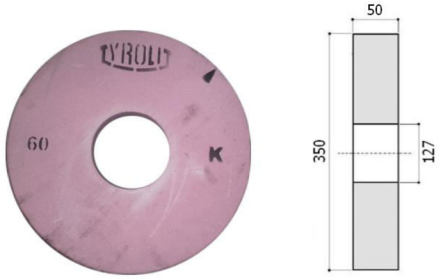
Broušení válcových ploch se provádí brousícím kotoučem. U brousících nástrojů se volí druh brusiva, zrnitost, tvrdost, struktura a pojivo. Brusné kotouče jsou rozdělovány podle typu brusného zrna do několika tříd, které jsou barevně odlišeny dle tab. 4.3. Zrnitost je dána počtem ok na čtvercové síti o délce strany 1 palec, při které brousící zrno okem propadne. U zrnitosti platí, že čím je vyšší, tím je jemnější kotouč. Pojivo zajišťuje soudržnost zrn a ovlivňuje tvrdost kotouče. Pojivo může být keramické, umělá pryskyřice, pryžové a magnezitové [47].

„Obecně lze říci, že čím tvrdší obrušovaný materiál je, tím měkčí volíme kotouč a čím větší je styčná plocha mezi obrobkem a kotoučem, tím volíme hrubší zrnitost a nižší tvrdost brousícího kotouče“ [47].

Tab. 4.3 Označování brousících kotoučů podle typu brusného zrna [47].

Typ brusného kotouče	Barva kotouče	Broušený materiál
49C (C)	zelený	měkký kotouč na tvrdé materiály (litina, lehké kovy)
99BA (89A)	bílý	broušení ocelí (třídy 11), ocelových vrtáků, nožů
98 (88A)	růžový	ocel třídy 11, legovaná ocel do 55 HRC - ocel HSS korozivzdorná ocel
97A (SA)	modrý	legovaná ocel 55-67 HRC - ocel, korozivzdorná ocel
454A	modrý	legovaná ocel 60-67 HRC - ocel, korozivzdorná ocel
F13A (F16A)	žlutý	legovaná ocel - ocel, korozivzdorná ocel (velké úběry bez zahřívání broušeného materiálu)
96A (10A)	šedý	hrubování ocelí - kotouč má dlouhou životnost
98RA	červený	korozivzdorná ocel - brusné zrno je déle ostřejší

Pro broušení kuželové plochy kolíku je zvolen brousící kotouč 350x50x127 98A60K9V40 značky TYROLIT (obr. 4.19). Brusivo je zde umělý korund (světle růžový) spojen keramickým pojivem. Jedná se o měkký kotouč s jemnou zrnitostí. Dle tab. 4.3 může být použit na ocel třídy 11 i legovanou ocel do 55 HRC. Z tohoto důvodu může být následně využit pro broušení vnější kalené válcové plochy u rozpěrného pouzdra. Výrobce doporučuje maximální řeznou (obvodovou) rychlost $v_c = 40$ m.s^{-1} a axiální posuv $f_a = 15$ mm. [47].



Obr.4.19 Brousící kotouč značky TYROLIT.

Volba řezných podmínek:

Broušení vnější kuželové plochy kolíku: obvodová rychlost brousicího kotouče $v_c = 30$ m.s^{-1}, axiální posuv stolu brusky $f_a = 15$ mm, pracovní záběr $a_e = 0{,}01$ mm, obvodová rychlost obrobku $v_w = 15$ m.min^{-1}.

Výpočet otáček nástroje dle vztahu (12):

$$n = \frac{v_c \cdot 60 \cdot 10^3}{\pi \cdot D_B} [min^{-1}] \qquad (12)$$

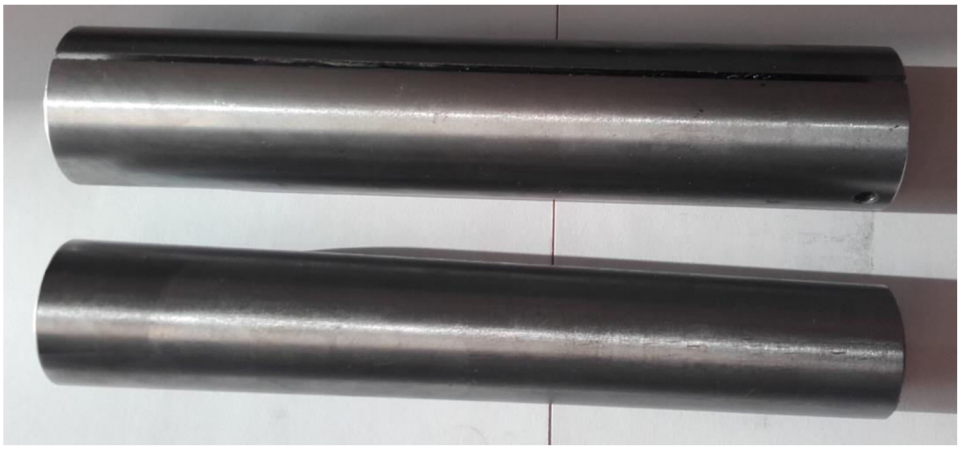
kde: v_c [m·min] – řezná rychlost (obvodová rychlost brousicího kotouče)

D_B [mm] – vnější průměr brousícího kotouče

$$n = \frac{35 \cdot 60 \cdot 10^3}{\pi \cdot 350} = 1909\ min^{-1}$$

4.6 TECHNOLOGICKÝ POSTUP

V technologickém postupu se uvádí rozměry polotovaru před obráběním, materiál, počet vyráběných kusů, hrubá a čistá hmotnost, pracoviště, výrobní prostředky (výrobní stroje, přípravky, nástroje a měřidla), popis činností a výrobních metod ve vhodném pořadí. Výslednou podobu technologického postup si určuje výrobní podnik. Pro výrobní podnik je vypracován zjednodušený technologický postup pro výrobu rozpěrného pouzdra (příloha 5) a kuželového kolíku (příloha 6). Ve vypracovaném technologickém postupu nejsou uvedeny vypočítané řezné podmínky pro zvolené nástroje. Navrhnuté řezné podmínky předává technolog ústní komunikací s operátorem stroje, který je případně upravuje podle potřeby. Dle navrhnutých technologických postupů byly vyrobeny obě součásti (obr. 4.20)



Obr. 4.20 Vyrobené rozpěrné pouzdro a kuželový kolík

5 REALIZACE ÚPRAV SPOJOVANÝCH SOUČÁSTÍ

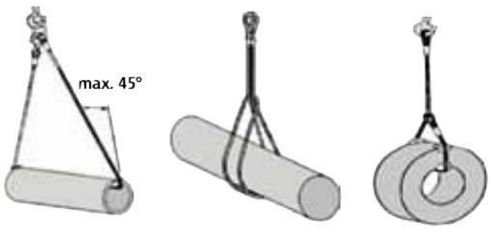
Tato kapitola se zabývá realizací navrhnutých úprav výstředníkové hřídele a ozubeného kola (ořechu spojky). Navrhnuté úpravy lze rozdělit do dvou částí. První část se zabývá úpravou výstředníkové hřídele jako část generální opravy svislého kovacího lisu. Druhá část se zabývá výrobou úpravy spojovaných součástí pro jejich nové rozebíratelné spojení.

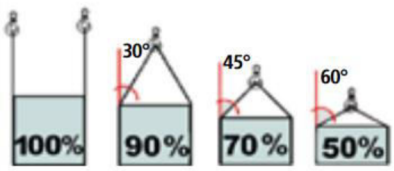
5.1 MANIPULACE S MATERIÁLEM

Hmotnost výstředníkové hřídele (břemene) je 2 832 kg a ořechu spojky je 458 kg. Pro dopravu na jednotlivá pracoviště bude použit stávající podstropní mostový jeřáb s maximální nosností 50 000 kg, který je součástí výrobní haly (obr. 5.1). Tento druh jeřábu se používá pro svislé zvedání, spouštění a vodorovnou dopravu na určitou vzdálenost. Hmotnost dopravovaného břemena nesmí překročit maximální nosnost zdvihacího zařízení a vázacích prostředků. Tato podmínka je splněna [48].

Obr. 5.1 Podstropní mostový jeřáb [4].

Přepravovaný ořech spojky má na své konstrukci dva závity určené pro montáž úchytných prvků (obr 5.4). Pro břemeno jako je výstředníková hřídel, které nemá žádné úchytné prvky, se používá vázání na smyčku. Příklady vázání břemen rotačního tvaru jsou zobrazeny na obr. 5.2. Při použití dvou vázacích prostředků je nutno zvolit způsob uvázání tak, aby úhly mezi vázacími prostředky se svislicí byly v dovoleném rozsahu. Závislost úhlů mezi vázacími prostředky a dovolenou hmotností břemena je zobrazena na obr. 5.3.



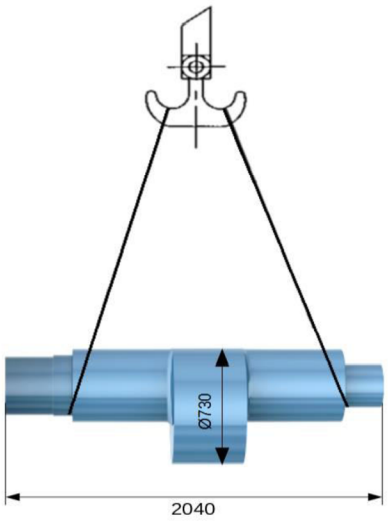


Obr. 5.2 Příklady vázání břemen rotačního tvaru [48] Obr. 5.3 Uspořádání vázacích prostředků [48].

Pro manipulaci břemen na mostovém jeřábu je jako nosný dílec zvolen kovaný dvojitý hák a jako vázací prostředky jsou zvoleny dva vysokopevnostní řetězy. Pro výstředníkovou hřídel, která nemá žádné úchytné prvky, bude použito vázání na smyčku dle navrhnutého úvazového plánu (obr. 5.5). Válcové plochy, na kterých bude uvázané lano je nutno chránit před jejich

poškozením, použitím měkkého ochranného prvku. Ovládání jeřábu bude provádět pouze odborně způsobilý pracovník mající příslušné oprávnění k obsluze jeřábu tzv. jeřábník. Vázání břemen bude provádět pouze pracovník tzv. vazač, který má k této činnosti příslušné oprávnění a bere na sebe plnou zodpovědnost za správné provedení. Před začátkem zvedací operace je nutné, aby jeřábník a vazač měl domluveno provedení a signály potřebné signály k provedení bezpečné operace.

Obr. 5.4 Návrh vázání výstředníkové hřídele



Obr. 5.5 Návrh vázání výstředníkové hřídele

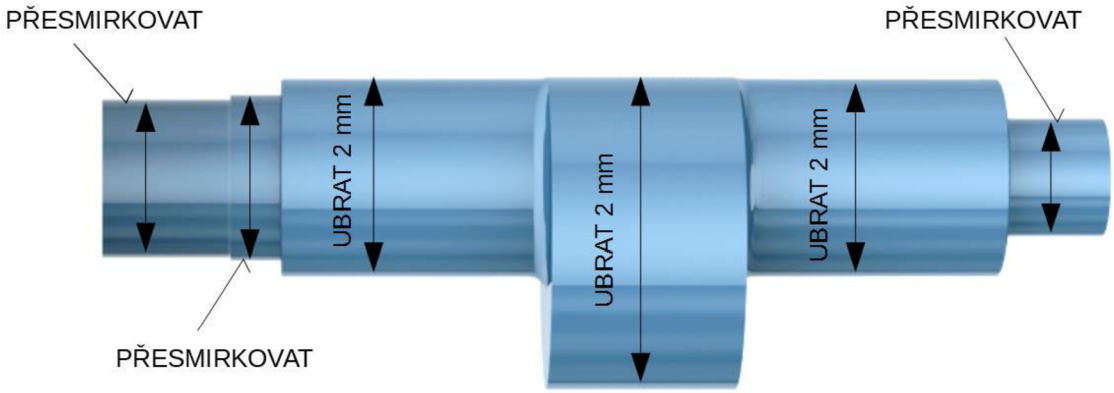
5.2 ÚPRAVA VÝSTŘEDNÍKOVÉ HŘÍDELE

Výstředníková hřídel je vyrobena z konstrukční legované oceli 16240 dle ČSN, která byla tepelně zpracována na požadované mechanické hodnoty dle zvláštního ujednání, které si výrobní firma nepřeje celé zveřejňovat. Výsledná tvrdost tepelně zpracovaného oceli je 255 HB. Tato ocel je zvláště vhodná k zušlechťování a používá se pro velmi namáhané strojní součásti s vysokou pevností a houževnatostí v jádře. Ocel je dobře tvárná za tepla a je vhodná pro výrobu velkých výkovků. Tato ocel patří do skupiny obrobitelnosti 13b a je tedy dobře obrobitelná [14,35].

Z hlediska funkce se výstředníková hřídel skládá z několika odstupňovaných průměrů a jednoho excentrického průměru. Hřídel je uložena ve stojanu lisu ve dvou kluzných bronzových ložiskách. Další kluzné ložisko je uloženo na excentrickém průměru zajišťující pohyb ojnice. Válcové plochy, na kterých se pohybují kluzná ložiska, se vyrábějí soustružením a následně se válečkují.

Hlavní část úpravy spočívá v přesoustružení průměrů pod kluzná ložiska minimálním úběrem (2 mm). Na výstředníkové hřídeli je uloženo jedno válečkové ložisko. Tato plocha bude pouze velmi lehce přečištěna smirkovým papírem tak, aby téměř nedošlo ke změně rozměru. Stejně tak tomu bude i u koncových průměrů, které budou pevně spojeny navrhnutým kolíkovým spojem. Zjednodušený návrh úpravy soustružením je zobrazen na obr. 5.6.

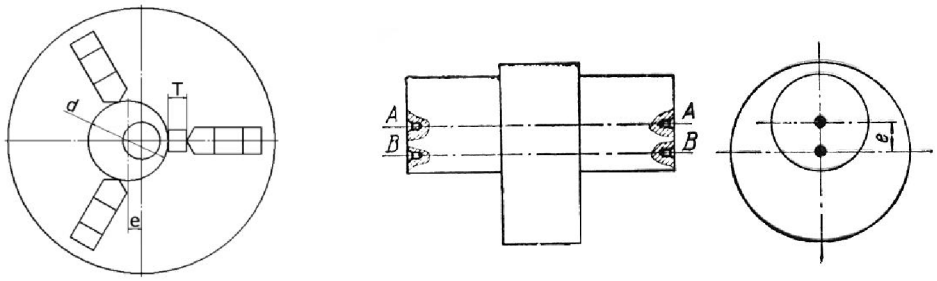
Kompletní úprava spojovaných součástí se řídí podle vytvořené výkresové dokumentace výstředníkové hřídele (příloha 3) a vypracovaném technologického postupu (příloha 7).



Obr. 5.6 Soustružnické úpravy výstředníkové hřídele

5.2.1 SOUSTRUŽENÍ VÝSTŘEDNÝCH PLOCH

Ve strojírenství se běžně vyskytují výstředné součásti, jako je upravovaná výstředníková hřídel. Výstředníková hřídel se od běžné hřídele liší, tím že má jeden nebo více průměru výstředných. To znamená, že osa tohoto průměru je posunutá a určitou vzdálenost tzv. výstřednost od ostatních, které mají stejnou osu. Pro soustružení platí, že obrobek musí být vždy ustaven tak, aby osa obráběné části byla v ose soustružení. Obrobky s výstředným průměrem se upínají mezi hroty nebo pomocí univerzálního sklíčidla s podložkou (obr. 5.7). Způsob upínání obrobků s výstřednými plochami závisí na tvaru a velikosti výstřednosti. U malých a krátkých obrobku lze výstředné plochy soustružit upnutím obrobku pomocí univerzálního sklíčidla s podložkou. Pomocná podložka má rozměr shodný s hodnotou požadované excentricity a při upínaní se vloží mezi obrobek a čelisti. Velké a dlouhé obrobky se upínají mezi hroty do středících důlků, které jsou vyvrtané mimo osu obrábění o hodnotu výstřednosti (obr. 5.8). Velké a dlouhé obrobky se upínají mezi hroty do středících důlků, které jsou vyvrtané mimo osu obrábění o hodnotu výstřednosti. Dlouhé obrobku se mohou podepírat pomocí opěrek tzv. lunet. Ty mohou být pohyblivé nebo nepohyblivé. Těžké a dlouhé obrobky se podepírají nepohyblivými lunetami, které jsou upnuty pevně na loži soustruhu [42,49,50].



Obr. 5.7 Upnutí do čelistí s podložkou [42]. Obr. 5.8 Příprava pro upnutí mezi hroty [42].

Výstředníková hřídel ve svislém kovacím lisu se svými rozměry zařazuje mezi velké a dlouhé obrobky, které se upínají mezi hroty do středících důlků. V mnoha případech se stává, že rozměr výstřednosti je natolik velký, že středící důlek není možné v daném místě vyvrtat, jelikož leží mimo materiál. To je i případ upravované hřídele pro svislý kovací lis. Na straně brzdy je průměr hřídele malý a středící důlek by ležel mimo materiál. V tomto případě je

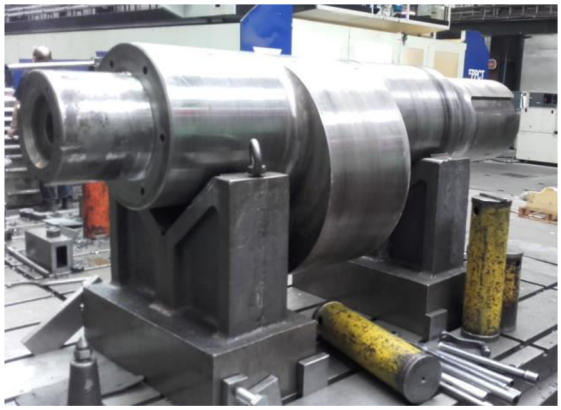
zapotřebí zhotovit pomocnou přírubu (obr. 5.9), aby bylo možné v daném místě středící důlek vyvrtat. Pomocná příruba má obdélníkový tvar s potřebným (vysoustruženým) průměrem, aby bylo možné přírubu na konec hřídele nasadit a upnout na soustruh (obr. 5.10). Nasazená příruba se pojišťuje šrouby a kolíkuje. Na straně spojky je průměr hřídele pro navrtání středícího důlku dostatečně velký.

Obr. 5.9 Pomocná příruba.

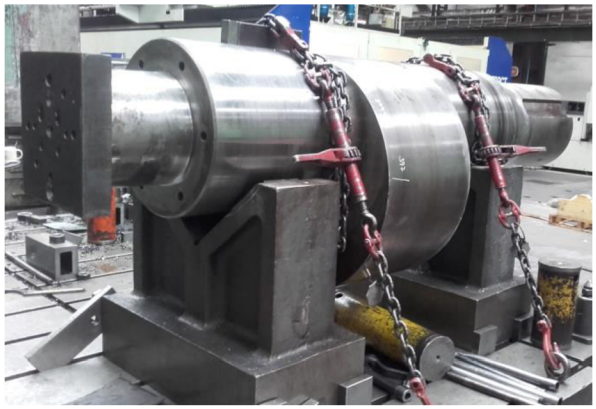
Obr. 5.10 Upnutí na soustruhu za pomocnou přírubu.

Navrtávání středících důlku pro výstřednou plochu:

U velkých hřídelí se navrtávání středících důlků provádí na horizontálních frézkách. Výstředníková hřídel se na pracovní stůl horizontální frézky uloží na dvě připravená prizmata (obr. 5.11). Následuje důkladné vyrovnávání do podélné osy a osy výstředníku a upnutí k pracovnímu stolu pomocí upínek nebo řetězů s háky viz obr. 5.12. Pomocná příruba bude nasazena na koncový průměr 280 mm, kde není možné vrtat důlek do hřídele. Do příruby budou vhodně navrtány tři otvory se závitem M16x70, tak aby nedošlo na čele hřídele k provrtání již navrtaných otvorů. Pomocí těchto otvorů se příruba pojistí šrouby M16. Dále je nutné zajistit polohu proti pootočení. Z toho důvodu budou dále navrtány dva otvory průměru 16H7. Do navrtaných otvorů se narazí odpovídající kolíky, které budou sloužit pro zajištění polohy. Konečnou operací je navrtání důlků do příruby a následně do druhého čela hřídele.



Obr. 5.11 Uložení hřídele na prizmata.



Obr. 5.12 Upnutá hřídel s pomocnou přírubou.

Soustružení válcových ploch:

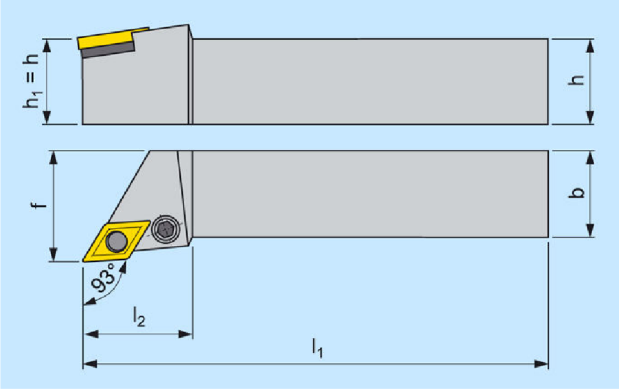
Připravená výstředníková hřídel bude s namontovanou přírubou přepravena mostovým jeřábem na připravený soustruh. Příruba nemá rotační tvar a pro její upnutí je nutné, aby byl pracovní soustruh vybaven lícní deskou. Lícní desky jsou upínací zařízení, které mají nastavitelnou každou čelist samostatně, a proto je možné upínat i nerotační tvary. Obrobek je upnut čelistmi lícní desky svírající pomocnou přírubu a podepřen hrotem v otočné hlavě (obr. 5.13). Na upnutém obrobku je zapotřebí kontrolovat házivost středících důlků pomocí číselníkového úchylkoměru. Není-li tato házivost dodržena, musí být středící důlky převrtány. Dále se kontroluje vodorovnost pomocí strojírenské vodováhy.

Obr. 5.13 Upnutí výstředníkové hřídele na soustruhu.

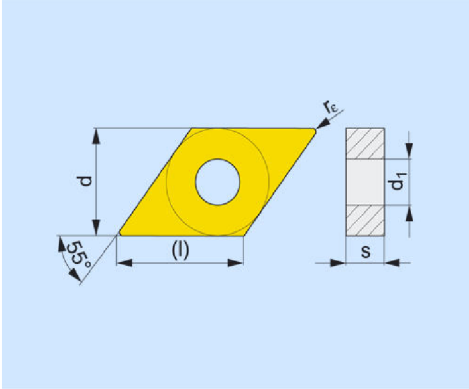
Volba nástroje:

Obráběná legovaná ocel 16240 dle ČSN patří podle normy ISO 513 do skupiny obráběných materiálu s označením P (modrá barva). Jako řezný nástroj pro soustružení válcových ploch je zvolen pravý soustružnický nůž s vyměnitelnou břitovou destičkou zkráceně VBD tvaru D. Materiál VBD je slinutý karbid s povlakem MTCVD 6630, který spojuje dobrou otěruvzdornost s vysokou houževnatostí. VBD bude v držáku nástroje upnuta systémem ISO P, který je realizován úhlovou pákou, která dotáhnutým šroubem dotlačí destičku do lůžka v držáku. Tento systém upínání se používá pro negativní destičky s válcovým otvorem. Používají se pro vnější soustružnické operace dokončovací i hrubovací [51].

Držák nástroje je označen PDJNR 3225 P 15 (obr. 5.14) a vyměnitelná břitová destička DNMG 150604E-F (obr. 5.15). Toto označení je přebráno z katalogu nástrojů pro soustružení od firmy Pramet Tools dle přílohy. Vybraná VBD má úhel nastavení hlavního ostří $\kappa_r = 95°$, úhel nastavení vedlejšího ostří $\kappa_{r'} = 30°$ a poloměrem zaoblení špičky $r_\varepsilon = 0{,}4$ mm. Je vhodná pro dokončovací až hrubovací soustružení. Doporučované řezné podmínky pro zvolenou VBD jsou uvedeny v tab. 5 [51].



Obr. 5.14 Držák PDJNR 3225 P 15 [51]



Obr. 5.15 VBD tvaru D[51]

Tab. 5 Doporučované řezné podmínky pro zvolenou VBD [51].

Tvar VBD	Označení ISO	Materiál	Rádius [mm]	Posuv na otáčku [mm]		Šířka záběru ostří [mm]	
	DNMG 150604E-F	6630	r_ε	f_{min}	f_{max}	$a_{p\ min}$	$a_{p\ max}$
			0,4	0,08	0,24	0,5	3

Volba řezných podmínek dle katalogu soustružení od firmy Pramet Tools s.r.o.:

Soustružení vnější válcové plochy: řezná rychlost v_c = 270 m.min^{-1}, posuv na otáčku f = 0,1 mm, šířka záběru ostří a_p = 1 mm.

Otáčky obrobku je nutno volit s ohledem na možnosti nastavení výrobního stroje. Výpočet otáček obrobku je proveden dle předchozího vztahu (11):

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot d}\ [min^{-1}] \tag{11}$$

Výpočet otáček obrobku pro obrábění dvou nevýstředných průměrů d_1 = 450 mm:

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot d_1} = \frac{275 \cdot 10^3}{\pi \cdot 450} = 194\ min^{-1} \rightarrow na\ stroji\ zvoleno\ 200\ min^{-1}$$

Výpočet otáček obrobku pro obrábění výstředného průměru hřídele d_2 = 730 mm:

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot d_2} = \frac{275 \cdot 10^3}{\pi \cdot 730} = 120\ min^{-1} \rightarrow na\ stroji\ zvoleno\ 125\ min^{-1}$$

Povrch bude následně válečkován, proto je nezbytné ponechat přídavek pro válečkování nad horní mezní rozměr s drsností povrchu Ra = 6,4µm. Zbylé plochy budou lehce přečištěny smirkovým papírem s nejmenší možnou změnou rozměrů.

5.2.2 PENETRAČNÍ ZKOUŠKA NA TRHLINY

Penetrační zkouška je nedestruktivní zkouška materiálu pro detekci povrchových trhlin a necelistvostí ve všech nepórovitých materiálech. Jedná se o snadnou zkoušku bez nutnosti použití speciálních zařízení, kterou je možno použít prakticky kdekoliv. Tato zkouška využívá kapilárních jevů kapaliny. Povrch zkoušeného obrobku byl důkladně očištěn od mechanických nečistot, rzi, nátěru a odmastit. Důkladná příprava povrchu má výrazný vliv na zkoušku. Následně se na zkoušený povrch nastříkal penetrant červené barvy ve spreji. Ten pronikne do možných trhlin a po odstranění jeho přebytku se vlivem působení kapilárních sil vzlíná z trhlin k povrchu. Aplikací kontrastní vývojky bílé barvy (obr. 5.16) se zvýrazňuje indikace. Možné trhliny se zobrazí ve formě červených map. Celková citlivost zkoušky závisí na použitém penetrantu, penetrační době, době vyvíjení a teplotě zkoušeného materiálu. Penetrační zkouškou v přechodových rádiusech R40 nebyly zjištěny žádné trhliny a výstředníková hřídel může být dále upravována [52,53].

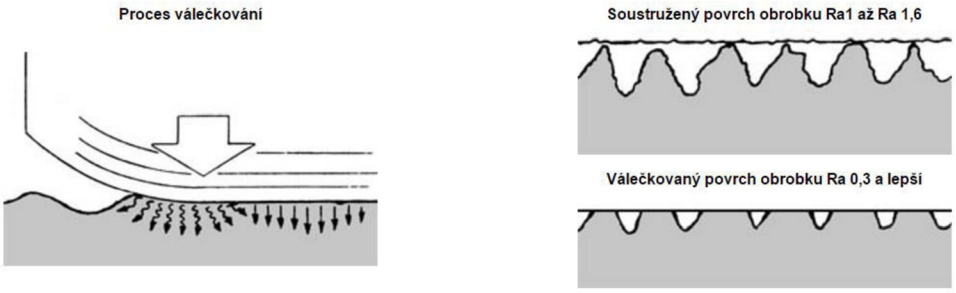
Obr. 5.16 Penetrační zkouška na trhliny.

5.2.3 VÁLEČKOVÁNÍ

Na výstředníkové hřídeli jsou uložena tři bronzová kluzná ložiska. Pro tyto plochy je předepsaný rozměr s horní mezní úchylkou -320 µm a dolní mezní úchylkou -380 µm. Tato rozměrová přesnost souvisí s požadovanou drsností povrchu. Pod kluzná ložiska se většinou předepisuje drsnost povrchu Ra = 0,2–0,4 µm. Na dané výstředníkové hřídeli je z toho důvodu na výrobním výkrese předepsána drsnost úložných plochy ložisek Ra = 0,4 µm.

Požadovaných rozměrových hodnot s drsností povrchu nelze pouhým soustružením docílit a musí po něm následovat dokončovací metoda. Nabízí se metoda broušení. Broušení takto velkých průměrů se provádí na speciálních bruskách pro velké průměry a délky. Tyto brusku se používají především pro obrábění velkých klikových hřídelí. Potřebný stroj není na výrobní hale k dispozici. Nabízí se však metoda válečkování, kterou lze provádět na soustružnickém stroji a pokračovat tak v další operaci bez nutnosti přepravy na jiné pracoviště.

Válečkování je beztřísková metoda obrábění, kterou se získává hladký a zpevněný povrch bez úběru materiálu. Používá se na soustružnických i frézovacích strojích, popřípadě obráběcích centrech. Princip metody je založen na přitlačení válečkovacího nástroje k povrchu obrobku tlakem, který je vyšší než mez kluzu obráběného materiálu. Tímto způsobem dojde ke snížení nerovností s přesností na tisíciny milimetru a vytvoření vysoce hladkého povrchu s drsností povrchu Ra $\leq$ 0,3 µm (obr. 5.17). Dále dochází ke zpevňování povrchu, který je potom odolnější proti otěru. Výsledkem válečkování je především rozměrová přesnost obrobku. Metodu válečkování lze použít na vnější i vnitřní válcové plochy, ale i na rovinné plochy [54,55].

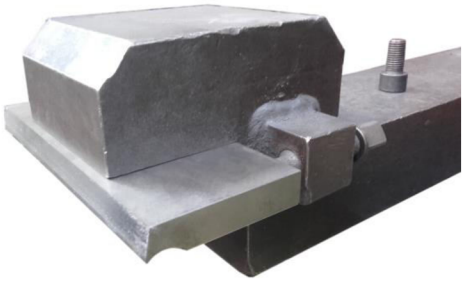


Obr. 5.17 Vliv procesu válečkování na povrch obrobku [55].

Příprava povrchu pro válečkování:

Výsledná rozměrová přesnost závisí na velikosti tlaku, výchozí drsnosti a rozměru plochy, materiálu válečku, pracovním posuvu. Válečkování bude prováděno ověřenou metodou výrobního podniku. Výchozí plocha před válečkováním musí být obrobena na určitou drsnost povrchu. U legovaných ocelí se tato metoda využívá pro zlepšení kluzných vlastností obráběného povrchu. Válečkováním legovaných a kalených ocelí dochází pouze k nepatrným rozměrovým změnám. Tyto oceli je nutné obrobit na předepsaný rozměr s nejmenší možnou drsností povrchu. Po obvyklém soustružení vzniká hodnota drsnosti povrchu Ra = 1 až 1,6 µm [55].

Rozměr a kvalita výchozí plochy zhotovená soustružením samotnými soustružnickými noži není pro válečkování průměrů výstředníkové hřídele dostatečná. V tomto případě se požadovaná válcová plocha soustruží na horní mezní rozměr s drsností povrchu až Ra = 6,4 µm. Následuje použití speciálního tzv. „stahovacího“ nástroje (obr. 5.18), kterým se postupně odebírá hloubka třísky 0,03 mm celou šířkou nástroje. Tato operace vyžaduje, aby byl výchozí povrch s drsností až Ra = 6,4 µm. Proces probíhá při nejmenších možných otáčkách stroje s ruční regulací zapínání a vypínání stroje. Výsledná šířka jednoho úběru zobrazena na obr. 5.19. Počet úběrů závisí na obráběné šířce. Takto obrobená plocha je následně válečkována.



Obr. 5.18 Stahovací nástroj.

Obr. 5.19 Tříska s použitím stahovacího nástroje.

Válečkování válcových ploch pro kluzná ložiska je prováděno válečkovacím nástrojem s kotoučovým tvářecím elementem (obr. 5.20). Velikost tlaku nástroje na obrobek je závislý na materiálu obrobku a druhu předchozí operace. Druh předchozí operace určuje drsnost povrchu. S klesající drsností výchozího povrchu klesá potřebná přítlačná síla. Drsnost výchozí plochy před válečkováním dosahuje hodnoty Ra ≤ 1,6 µm. Velikost přítlačné síly závisí na poloměru válečkovacího kotouče. V případě válečkovaní daných ploch je použit nástroj s přítlačným kotoučem o průměru 70 mm. Zvoleným nástrojem nelze regulovat přítlačnou sílu,

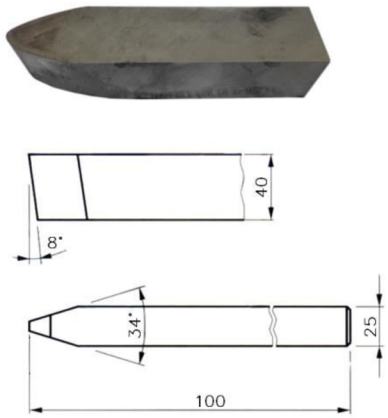
a proto se použil pouze ruční doraz na obrobek s mírným dotlačením na obráběnou plochu. Pro zlepšení trvanlivosti a výsledné drsnosti povrchu byl jako mazací prostředek použit olej.

Obr. 5.20 Válečkovací nástroj.

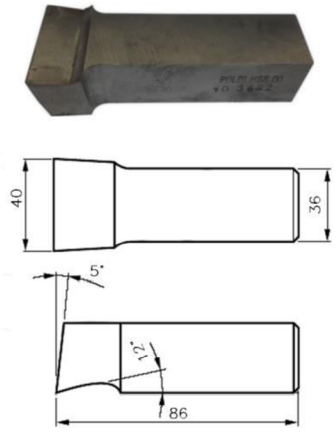
5.3 ÚPRAVA OZUBENÉHO KOLA

Pro ořech spojky je použit již vyrobený náhradní díl. Náhradní díl je bez vyrobených drážek pro spojení. Z hlediska volby kombinované spojení kolíky a pery spojovaných součástí, je nutné vyrobit 3 drážky šířky 82P9 dle navrhnuté výrobní dokumentace (příloha 4) a vypracovaném technologického postupu (příloha 8).

Rozbor stávající operace obrážení drážek na vnitřním průměru náboje je popsán v předchozí kapitole 2.4.2. Pro obrážení drážky 82P9 je zvolena svislá obrážečka STSR 1400. Obrážení bude prováděno dvěma obrážecími noži z rychlořezné oceli (HSS). Pro operaci hrubování je zvolen nůž obrážecí hrubovací 40x25x100 mm (obr. 5.21). Pro operaci dokončování je zvolen nůž obrážecí drážkovací příčný 40x36x82 mm (obr. 5.22).



Obr. 5.21 Nůž obrážecí hrubovací.



Obr. 5.22 Nůž obrážecí drážkovací příčný.

Volba řezných podmínek:

Obrážení drážek 82P9 (hrubování): řezná rychlost v_c = 24 m.min^{-1}, posuv za dvojzdvih f_d = 1 mm, šířka záběru ostří a_p = 8 mm.

Obrážení drážek 82P9 (dokončování): řezná rychlost v_c = 60 m.min^{-1}, posuv za dvojzdvih f_d = 0,1 mm, šířka záběru ostří a_p = 1 mm.

6 VÝROBA KOLÍKOVÉHO SPOJE

Montáž navrhnuté sestavy kolíkového spoje vyžaduje výrobu děr pro uložení rozpěrného pouzdra. Pro spojení je navrhnuto uložení H7/h6. Výrobu děr je nejvhodnější provádět současně do obou spojovaných součástí. Následující podkapitoly popisují návrh a realizaci výroby.

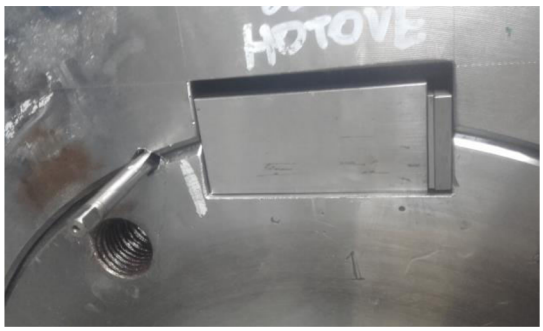
6.1 PŘÍPRAVA SPOJOVANÝCH SOUČÁSTÍ

Výroba děr je prováděna současně do obou spojovaných součástí, proto je před samotnou operací výroby děr nutné nasadit ořechu spojky na výstředníkovou hřídel a pojistit je proti vzájemnému otočení nebo posunutí. Připravená výstředníková hřídel je podstropním mostovým jeřábem přemístěna na montážní pracoviště a uložena na dvě podpěrné konzoly (obr. 6). Následně je pomocí jeřábu a pracovníků montáže ustaven ořech spojky na připravenou výstředníkovou hřídel (obr. 6.1).

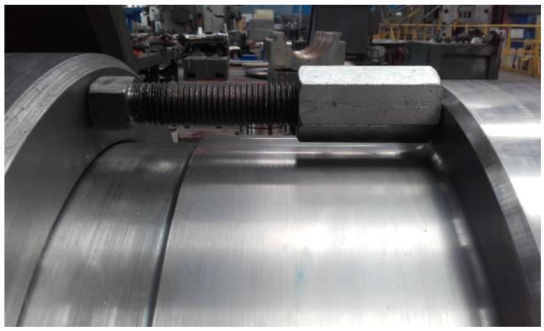
Obr. 6 Uložená výstředníková hřídel.

Obr. 6.1 Ustavení ořechu spojky.

Ořech spojky musí být ustaven do požadované axiální polohy a zároveň musí být dodržena souosost jednotlivých drážek. Po vymezení polohy je proti vzájemnému otočení součástí použito šroubové spojení sloužící jako tvarový spoj (obr. 6.2). Vrtání díry a ruční řezání požadovaného závitu M10x50 je proveden na rozhraní spojení součástí přímo na montážním pracovišti montážními pracovníky. Zajištění polohy proti posunutí v axiálním směru je provedeno šroubem a dlouhou maticí (obr. 6.3).



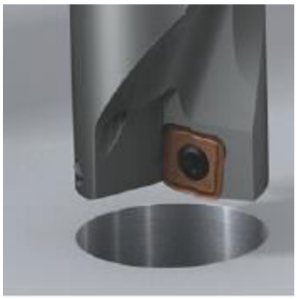
Obr. 6.2 Pojištění a vymezení poloh drážek.



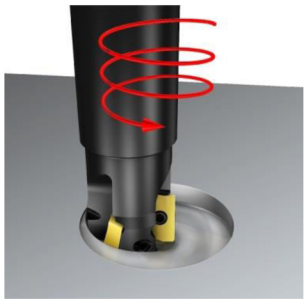
Obr. 6.3 Zajištění axiální polohy.

6.2 OBRÁBĚNÍ DĚR

Obrábění slepých děr lze provádět dvěma základními způsoby, a to vrtáním (obr. 6.4) nebo frézováním (obr. 6.5). Tyto metody a jejich příkladné použití pro výrobu navrhnutého kolíkového spoje, jsou popsány v následujících podkapitolách.



Obr. 6.4 Vrtání děr [57].

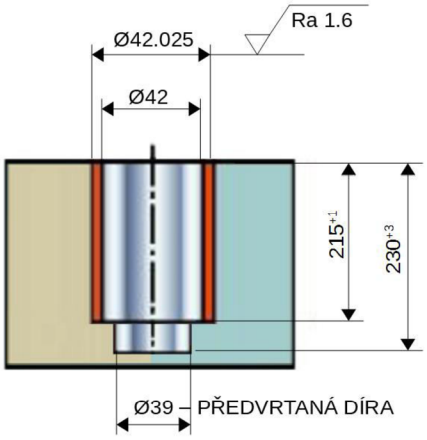


Obr. 6.5 Frézování děr [58].

Návrhu způsobu obrábění požadovaných otvorů musí předcházet důkladná počáteční analýza, která se zabývá parametry díry, rozměry obrobku, obráběným materiálem a výrobním strojem. Mezi nejdůležitější parametry vyráběné díry patří:

- průměr předvrtané díry (39 mm), průměr konečné díry (42 mm s tolerancí H7),
- hloubka předvrtané díry (230 mm), hloubka konečné díry (215 mm),
- kvalita konečné díry (Ra = 1,6 µm) viz obr. 6.6.

Průměr konečné díry určují tři parametry: jmenovitý rozměr 42 mm (teoreticky přesná hodnota), šířka tolerančního pole IT 7 (dle ISO označovaná IT) a poloha tolerančního pole H (dle ISO označovaná velkými písmeny) [14,57].



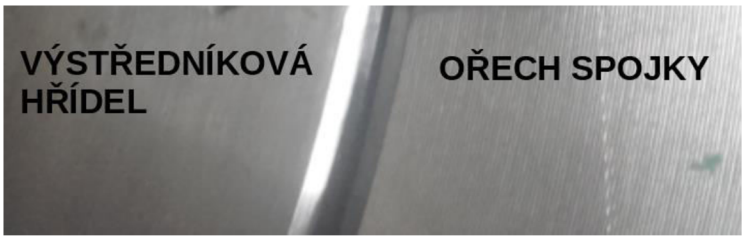
Obr. 6.6 Parametry obráběné díry.

Po provedené počáteční analýze díry je nutné posoudit celkový tvar součásti a obráběný materiál. Výroba díry je prováděna do sestavy skládající se ze dvou materiálů. Výstředníková hřídel z konstrukční legované oceli 16240 s třídou obrobitelnosti 14b a ořech spojky z uhlíkové oceli na odlitky 42 2660, které byla normalizačně žíhaná a popuštěná na mez pevnosti s výslednou tvrdostí 200 HB [14].

Sestava spojených součástí má největší rozměry 900×900×2000 mm (šířka×výška×délka). Pro výrobu je zvolena CNC vodorovná vyvrtávačka WHN 13 CNC s potřebným pracovním stolem a řídicím systémem Heidenhain iTNC530. Horizontální orientace vřetena umožňuje dobré odvádění třísek. Sestava spojených dílů je na pracovním stole upnuta výstředníkovou hřídelí na dvě prizmatické podložky pomocí upínek (obr. 6.7).

Obr. 6.7 Upnutí na pracovní stůl.

Na samotný proces vrtání může mít negativní vliv nerovností či sklon povrchu. Tento problém musí být zohledněn i v daném případě, jelikož sražení hran na vnějším průměru hřídele a vnitřním průměru ořechu spojky 3x45° vytváří šikmou plochu (obr. 6.8), která může ovlivnit výslednou přesnost děr. Z tohoto důvodu je nutné vytvořit vhodnější výchozí podmínky pro začátek vrtání např. vyfrézování kruhové kapsy.

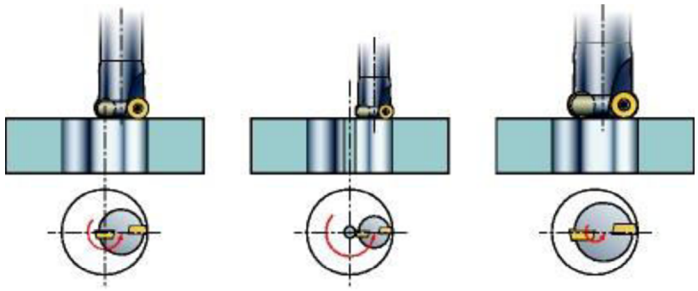


Obr. 6.8 Sražení hran ve středu budoucích otvorů.

6.2.1 FRÉZOVÁNÍ KRUHOVÉ KAPSY

Pro možnost začátku vrtání je navrhnuto frézovat kruhovou kapsu do hloubky 4 mm o průměru 46 mm. Na výrobu kruhové kapsy je zvolen způsob frézování spirálovou interpolací. Tento způsob frézování kombinuje pohyb po kruhové dráze spolu s axiálním posuvem a umožňuje použití fréz, které nemají středové břity. Z hlediska obráběcího procesu dochází k dobrému odvádění třísek. Při volbě této metody je třeba důležité uvážit velikost frézy pro daný průměr, stoupání na otáčku a rychlost posuvu [58,61]

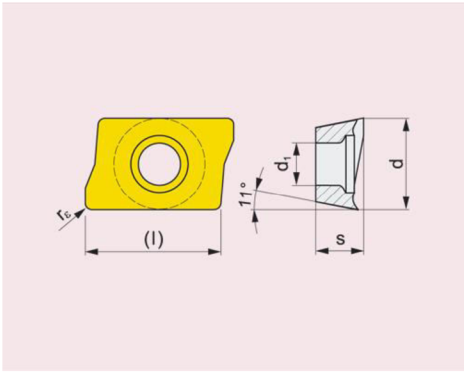
Volba průměru frézy ovlivňuje, zda dochází k řezu břitových destiček přes středovou osu díry. Při volbě příliš malého průměrů zůstává v ose zbytek materiálu, který je pro následnou operaci vrtání nepřípustný. Volba příliš velkého průměru způsobuje tvoření výčnělku, který se střetává s čelem nástroje a snižuje jeho životnost [58].



Obr. 6.9 Volba průměru frézy [58].

Pro frézování kruhové kapsy je zvolena dvoubřitá rohová fréza průměru 25 mm označena 25A2R033A25-SAP15D s dvěma vyměnitelnými břitovými destičkami označené APKX 1505PDER-F viz tab. 6.

Obr. 6.10 Dvoubřitá rohová fréza [59].



Obr. 6.11 VBD pro frézování kapsy [59].

Tab. 6 Doporučované řezné podmínky pro zvolenou VBD [59].

Tvar VBD	Označení ISO	Materiál	Rádius [mm]	Posuv na zub [mm]		Šířka záběru ostří [mm]	
	APKX 1505PDER-F	8040	r_ε	$f_{z\ min}$	$f_{z\ max}$	$a_{p\ min}$	$a_{p\ max}$
			0,8	0,1	0,2	1	13

Volba řezných podmínek z katalogu pro frézování od firmy Pramet Tools s.r.o.:

Frézování kapsy průměru 46 mm a hloubky 4 mm (obr. 6.12): řezná rychlost $v_c = 185$ m.min^{-1}, posuv zub $f_z = 0{,}25$ mm, šířka záběru ostří $a_p = 2$ mm [59].

Výpočet otáček nástroje je proveden dle předchozího vztahu (11):

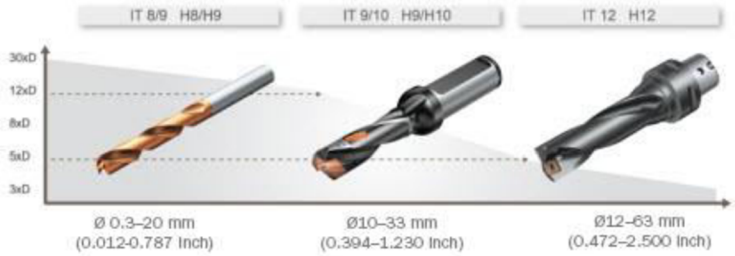
$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot d}\ [min^{-1}] \tag{11}$$

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot d} = \frac{185 \cdot 10^3}{\pi \cdot 25} = 2355\ min^{-1}$$

Obr. 6.12 Frézování kruhových kapes pro možnost následného vrtání.

6.2.2 VRTÁNÍ

Tradiční a nejrychlejší metodou výroby díry je vrtání. Pro vrtání děr se používají monolitní karbidové vrtáky, vrtáky s vyměnitelnými vrtacími hlavicemi nebo vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami. Volba nástroje závisí na typu díry a její požadované přesnosti [57].



Obr. 6.13 Typy vrtacích nástrojů [57].

Pro požadovanou díru o průměru 42 mm a délce 230 mm se nabízí použít vrták s vyměnitelnými břitovými destičkami a vnitřním přívodem řezné kapaliny. Výrobce však uvádí dosahovanou přesnost díry H12, ale požadované tolerance díry 42 mm je H7. V tomto případě je zvolen vrták vyrobený na zakázku o průměru 39 mm a délky 360 mm (obr. 6.14) s vyměnitelnými břitovými destičkami SCET 120408-SD viz tab. 6.1. Tímto nástroje je vyvrtána díra o průměru 39 mm a hloubce 230 mm, která je následně zvětšena frézovacím nástrojem s využitím šroubovicové interpolace a dokončena vystružováním.

Obr. 6.14 Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami.

Tab. 6.1 Doporučované řezné podmínky pro VBD (SCET 120408-SD).

Tvar VBD	Označení ISO	Materiál	Rádius [mm]	Posuv na otáčku [mm]		Řezná rychlost [m.min^{-1}]
	SCET 120408-SD	8330	r_ε	f_{min}	f_{max}	v_c
			0,8	0,09	0,22	100-170

Volba řezných podmínek dle katalogu vrtání od firmy Pramet Tools s.r.o.:

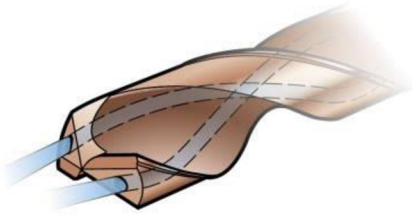
Vrtání díry o průměru 39 mm do hloubky 230 mm: řezná rychlost v_c = 147 m.min^{-1}, posuv na otáčku f = 0,1 mm [59].

Výpočet otáček nástroje je proveden dle předchozího vztahu (11):

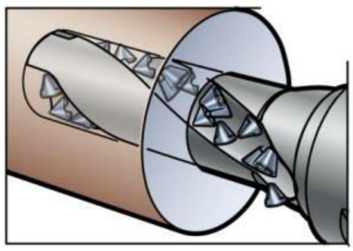
$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot d} \; [min^{-1}] \tag{11}$$

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot d_1} = \frac{147 \cdot 10^3}{\pi \cdot 39} = 1200 \; min^{-1}$$

Při vrtání hlubších děr, které mají hloubku 4–5× průměru nástroje je vhodné použít nástroj s vnitřním přívodem řezné kapaliny (obr. 6.15) např. olejový roztok. Přívod řezné kapaliny řezné kapaliny má zásadní vliv na lepší odvádění třísek (obr. 6.16), kvalitu díry a životnost nástroje. V případě použití vrtáku v horizontální poloze je doporučeno, aby byl zvolen takový tlak kapaliny, při kterém do vzdálenosti nejméně 30 cm nedocházelo k odchylování proudu od přímé dráhy. Pro zvolený nástroj je dle tab. 6.2 zvolen tlak řezné kapaliny 6 bar [57,60].



Obr. 6.15 Nástroj s přívodem řezné kapaliny [57].



Obr. 6.16 Odvod třísek při vrtání [57].

Tab. 6.2 Doporučovaný tlak řezné kapaliny podle průměru vrtáku [57].

Průměr vrtáku	Tlak řezné kapaliny	
	Délka vrtáku	
	2 – 2,5×průměr vrtáku	3 – 5× průměr vrtáku
15–25 mm	0,6 bar	12 bar
26–40 mm	4,5 bar	9 bar
40 mm	3 bar	6 bar

Špatný odvod třísek způsobuje jejich hromadění, které může být příčinou vychylování vrtáku v radiálním směru. To má za následek zhoršení kvality díry a životnosti vrtáku. Jedním ze

způsobů, jak určit zda dochází k vhodnému utváření třísek, jsou vydávané zvuky během vrtání. Přerušovaný zvuk signalizuje špatný odvod třísek a jejich hromadění v řezu. Dalším možným způsobem je posouzení tvaru třísek dle obr. 6.17 a obr. 6.18. V neposlední řadě je vhodné kontrolovat na řídícím panelu stroje, zda nedochází ke kolísání výkonu stroje [57,60].

Obr. 6.17 Správný tvar třísek [57].

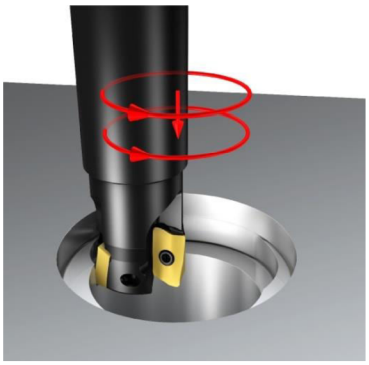
Obr. 6.18 Nevhodný tvar třísek [57].

6.2.3 ZVĚTŠOVÁNÍ DĚR FRÉZOVÁNÍM

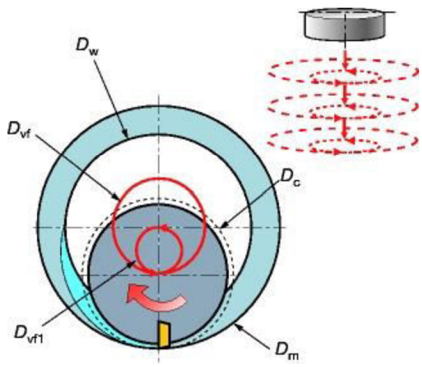
Zvětšování stávajících otvoru frézováním lze provádět dvěma způsoby, a to frézováním pomocí kruhové interpolace nebo šroubovicové interpolace [60].

Frézování pomocí kruhové interpolace

Frézování otvorů pomocí kruhové interpolace je prováděno pohybem nástroje po kruhové dráze s konstantní hodnotou šířky záběru ostří. Fréza provádí nájezd a výjezd ze záběru pro každou výškovou úroveň (obr. 6.19). Nejčastěji se používají frézy s úhlem nastavení hlavního ostří 90° s předpokladem pro vysoké hodnoty šířky záběru ostří. Nevýhodou této metody je vznik stupňovitých stop po každém průchodu a přesnost obrobené díry je horší než v případě použití metody šroubovicové interpolace [58,61].



Obr. 6.19 Frézování pomocí kruhové interpolace.

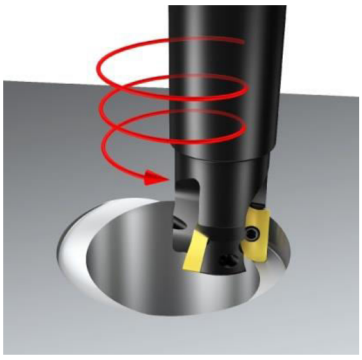


Obr. 6.20 Odvalovací nájezd.

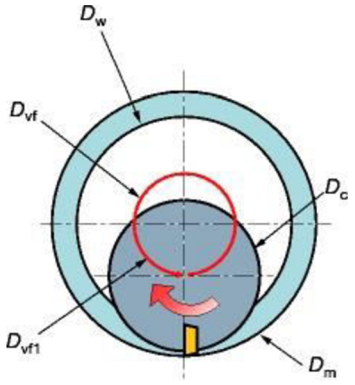
Pro vstup nástroje do řezu je vhodné programovat odvalovací nájezd, kterým zaručí malou tloušťku třísky na výstupu z řezu (obr. 6.20). Malý úhel záběru snižuje sklon nástroje k vibracím.

Frézování pomocí šroubovicové interpolace

Postupné zahlubování kruhovou interpolací je metoda frézování s konstantním úhlem sestupu se záběrem čelem nástroje (obr. 6.21). Metoda je vhodná pro aplikace citlivé na vibrace a zaručuje nejlepší kruhovitost a souosost díry. Výhodou ve srovnání s metodou frézování pomocí kruhové interpolace je nepřetržitý záběr frézy po celou hloubku díry. Tím odpadávají nájezdy a výjezdy používané u kruhové interpolace [59,61].



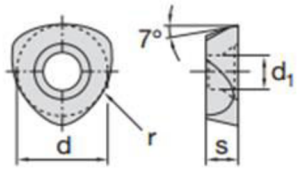
Obr. 6.21 Frézování pomocí šroubovicové interpolace [59.]



Obr. 6.22 Nájezd nástroje [59].

Pro zvětšení otvoru o průměru 39 mm na průměr 41,7 mm o hloubce 215 mm je zvolena metoda frézování pomocí šroubovicové interpolace. Jako nástroj je zvolena modulární šroubovací fréza o průměru 32 mm (upínací závit M16) s vnitřním přívodem řezné kapaliny označena FF EW D32-M16-06-C (obr. 6.23) od prodejce ISCAR. Pro frézování jsou zvoleny výměnné břitové destičky s označením WP1177-11T (obr. 6.24).

Obr. 6.23 Šroubovací fréza o průměru 32 mm.

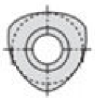


Obr. 6.24 VBD WP1177-11T [63].

Pro šroubovací frézu je zvolen karbidový upínač o délce 260 mm, vnitřním závitem M16 a válcovou stopkou (obr 6.25), která je upínána do tepelného upínače.

Obr. 6.25 Karbidový upínač pro šroubovací frézu [62].

Tab. 6.2 Doporučované řezné podmínky pro VBD (WP1177-11T) [59].

Tvar VBD	Označení ISO	Povlak	Rádius [mm]	Posuv na zub [mm]	Řezná rychlost [m.min^{-1}]
	WP1177-11T	TiCN	r_ε	f_z	v_c
			0,8	1	180

Volba řezných podmínek dle katalogu frézování od firmy ISCAR:

Zvětšování díry z průměru 39 mm na průměr 41,7 mm: řezná rychlost v_c = 180 m.min^{-1}, posuv na zub f = 1 mm, šířka záběru ostří a_p = 1 mm [63].

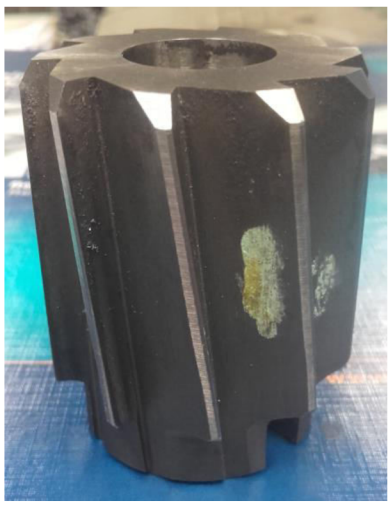
Výpočet otáček nástroje je proveden dle předchozího vztahu (11):

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot d} \; [min^{-1}] \tag{11}$$

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot d} = \frac{180 \cdot 10^3}{\pi \cdot 32} = 1790 \; min^{-1}$$

6.2.4 VYSTRUŽOVÁNÍ

Pro otvory se značnými nároky na přesnost a drsnost se jako dokončovací operace používá vystružování. Pro vystružování se používají malé řezné rychlosti a posuvy. Dokončování díry 42H7, která je v předchozí operaci vyfrézovaná na průměr 41,7 mm je provedena nástrčným výstružníkem se zuby ve šroubovici daného průměru, který je upnut do držáku nástrčných výstružníků.



Obr. 6.26 Nástrčný výstružník se zuby ve šroubovici.

Volba řezných podmínek pro vystružování dle katalog M&A:

Vystružování díry 42H7 do hloubky 215 mm: řezná rychlost v_c = 5 m.min^{-1}, posuv na otáčku f = 0,4 mm [64].

Výpočet otáček nástroje je proveden dle předchozího vztahu (11):

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot d} \; [min^{-1}] \tag{11}$$

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot d} = \frac{5 \cdot 10^3}{\pi \cdot 42} = 38 \; min^{-1}$$

Po kompletním dokončení první díry je montována první kolíková sestava, která následně slouží jako tvarový spoj proti otočení při výrobě ostatních děr (obr. 6.27). Kolík lze dotáhnout šroubem přes plochou podložku používanou pro šroubový spoj. Po vystružení je nutné ořech demontovat a srazit vzniklé hrany (obr. 6.28).

Obr. 6.27 Proces obrábění děr.

Obr. 6.28 Ukázka obrobených děr po demontáži

6.3 RECYKLACE ŘEZNÝCH KAPALIN

Zvolená řezná kapalina je směs chemických látek v různých poměrech, která musí splňovat normy a předpisy vč. TRGS 61. Použití řezných kapalin ve strojírenství zajišťuje vysokou produktivitu, přesnost výroby, kvalitu obrobeného povrchu atd. Řezná kapaliny obsahuje po použití ztrátové mazací oleje, bakterie a rozpuštěné kovy z obrobků apod. Za ekologičtější řezné kapaliny lze označit ty, které neobsahují kyselinu boritou, aminy či biocidy [65].

Žádná řezná kapalina, ať už použitá nebo nepoužitá, se nesmí dle platné legislativy likvidovat vylitím do kanalizace nebo kamkoliv do životního prostředí. Z hlediska procesu recyklace se použitá řezná kapalina filtruje a čistí, tím lze dosáhnout snížení nákladů na tyto provozní kapaliny. Použití znečistěných řezných kapalin poškozuje vřetena, čerpadla a nástroje. Způsob likvidace řezné kapaliny je dáno likvidačním číslem uvedeným v bezpečnostním listě dané kapaliny [65].

7 DISKUZE

Jednou z částí této diplomové práce bylo navrhnout konstrukční a výrobní řešení rozebíratelného spoje pro přenos velkého krouticího momentu mezi ozubeným kolem ve spojce (brzdě) a výstředníkovou hřídelí. Nevýhodou dosavadního spojení pomocí klínů je požadavek vysoké přesnosti zalícování dosedacích ploch klínů do drážek spojovaných součástí. Lícování prováděné metodou zaškrabávání je fyzicky namáhavý a časově náročný způsob. Další nevýhodou klínového spojení je obtížná demontáž, která se provádí v případě generálních oprav svislých kovacích lisů. V některých případech může při špatně provedené demontáži dojít k poškození jedné či obou spojovaných součástí a vzhledem k vysoké ceně spojovaných dílů bylo nutné tento problém řešit. Mezi náhradní varianty klínového spojení bylo zařazeno spojení rozpěrnými pouzdry s kolíky a spojení pomocí nakupovaných zajišťovacích zařízení, které již někteří výrobci velkých tvářecích strojů používají.

Při návrhu spojení pomocí rozpěrných pouzder a kuželových kolíků se stal velkou nevýhodou již odebraný materiál (klínové drážky, otvory atd.) u výstředníkové hřídele, který omezuje prostor pro možnost vytvoření nového spojení. U návrhu rozpěrných pouzder jsou hlavními parametry jejich průměr, délka a počet kusů. Tyto parametry vstupují do kontrolních výpočtů napětí ve smyku a otlačení ploch. Na danou výstředníkovou hřídel bylo pro spojení se spojkou možné použít pouze devět navrhnutých rozpěrných pouzder o průměru 42 mm a délce 210 mm. Při zatížení navrhnutého spoje krouticím momentem stroje bylo pevnostním výpočtem doloženo, že je překročena hodnota dovoleného napětí na smyk a otlačení. Tento problém by mohl řešen návrhem většího počtu pouzder nebo zvětšením rozměru průměru či délky. Z konstrukčního hlediska nebylo možné použít větší počet pouzder a délka pouzdra je limitována délkou náboje (koncového průměru hřídele) a možnosti vyrobitelnosti spojovacích elementů. Zvětšením průměru rozpěrného pouzdra, by došlo k dalšímu zeslabení průřezu hřídele a materiálu mezi pouzdry. Pro takový návrh je nutná doplňková kontrolka namáhání hřídele na krut.

Pro přenos maximálního krouticího momentu ze spojky na výstředníkovou hřídel je zvoleno kombinované spojení rozpěrnými pouzdry a pery, které je také nutno kontrolovat na smyk a otlačení. Nevýhodou kombinovaného spojení je samotné spojení pery, které vyžaduje výrobu per, drážek a následné lícování. Výhodou použití rozpěrných pouzder je jejich rychlá montáž, demontáž a vytvoření souososti hřídele a náboje, která při použití klínových spojů není zaručena a vede k házení náboje.

Použití zajišťovací zařízení RINGFEDER (ECOLOC) není pro stávající spojované součásti vhodné z několika důvodů. Jedním z důvodů jsou vyrobené drážky na plochách, kde se zařízení umisťuje. Dalším důvodem jsou rozměry vnitřních dosedacích kroužků, které jsou odstupňovány podle požadovaného přenášeného krouticího momentu. Při použití tohoto zařízení jsou nutné konstrukční úpravy dílu a z tohohle hlediska doporučuji, aby se této variantě spojení věnovalo již při návrhu stroje.

Výroba sestavy kolíkového spoje skládající se z rozpěrného pouzdra, kuželového kolíku je z technologického hlediska výrazně složitější než výroba podélných klínů. Vzhledem k velkému měrnému tlaku je pro pouzdro zvolena nízkolegovaná ocel 51CrV4, která je kalená a popuštěná. Předpokládám, že výrobní cena sestavy kolíkového několikrát překračuje cenu výroby podélných klínu. Vzhledem k časové náročnosti montáže, demontáže a možnosti poškození spojovaných dílů při demontáži klínů je výhodnější použít sestavu kolíkového spoje, která zaručuje rychlou montáž a demontáž.

Nevýhodou výroby rozpěrných pouzder je vnitřní kuželová plocha na obrobku dlouhém 210 mm. Soustružení této je prováděno z obou stran do poloviny obrobku a následně je dokončena kuželovým výstružníkem. Rychlejším způsobem by mohlo být použití delšího nástroje s velkou tuhostí, kterým by byla plocha soustružena po celé délce. Další možnost výroby je použití CNC soustruhu. Kuželové plochy pouzdra a kolíku, které na sebe následně dosedají, jsou kontrolovány kuželovým kalibrem. Výrobou však nelze zcela dosáhnout styku celých ploch. Tím se snižuje hodnota dovoleného přenášeného krouticího momentu. Předpokladem je snížení únosnosti spoje o 20 %. Pro tento jev byl zaveden koeficient, s kterým jsou prováděny pevnostní výpočty spoje.

Výroba děr je vhodná pro CNC vodorovné vyvrtávačky. Z toho důvodu je nutné na výrobním výkrese uvést souřadnice jednotlivých otvorů. Požadovaný otvor má dva průměry. Menší průměr slouží pro možnost vyklepnutí kuželového kolíku z pouzdra, čímž dojde k uvolnění spoje. Výroba tohoto otvoru se provádí vrtáním. Pro zvětšování toho průměru na vnější rozměr rozpěrného pouzdra je možné použít frézování pomocí kruhové interpolace nebo šroubovicové interpolace. Výhodnější varianta frézování je pomocí šroubovicové interpolace, kde probíhá nepřetržitý záběr frézy po celou hloubku díry a odpadávají tak nutné nájezdy a výjezdy u kruhové interpolace. Pro dokončení děr je použita operace vystružování. Tato operace by mohla být nahrazena opětovným frézováním. Tato varianta může být využitá v případě nutnosti výroby poloviny díry např. při výrobě náhradního dílu bez dodané spojované součásti.

Nevýhodou navrhnuté díry je hloubka 230 mm u vrtaného průměru 39 mm. Hloubka překračuje pětinásobek průměru nástroje, a proto je nutné nechat tento vrták vyrobit na míru. Pro zvětšování hlubokých otvorů frézováním je nutné použít šroubovací frézu s karbidovou tyčí, která se upíná do tepelného upínače. Výroba děr vyžaduje v porovnání s výrobou drážek pro klíny velice drahé nástroje a vybavení. Z hlediska nahrazování klínového spojení za spojení rozpěrnými pouzdry u všech vyráběných (opravovaných) strojů je předpoklad investice výhodný.

ZÁVĚR

Svislé kovací lisy vyžadují přenos velkých krouticích momentů mezi spojkou a výstředníkovou hřídelí. Tyto krouticí momenty se přenáší přes spojovací elementy, které jsou vystavovány velkému zatížení. Dosavadní spojení pomocí podélných klínů vyžaduje při montáži vysokou přesnost zalícování do spojovaných součástí. Tato operace je časově a fyzicky velmi náročná. Nedodržením požadavků přesnosti zalícování se zkracuje provozní životnost spoje. Při demontáži klínů, které byly provozem stroje vystavovány velkému zatížení, může dojít k poškození jedné či obou spojovaných součástí.

Použití náhradního spojení kuželovými kolíky s rozpěrnými pouzdry na opravovanou výstředníkovou hřídel je limitováno prostorem, který je k dispozici. Možnost přenosu maximálního krouticího momentu je omezena počtem a rozměry spojovacích prvků. Navrhnuté spojení výstředníkové hřídele a spojky využitím devíti kuželových kolíků s rozpěrnými pouzdry nesplňovalo pevnostní kontrolu na dovolené napětí ve smyku a otlačení.

Tento problém byl vyřešen návrhem kombinovaného spojení s pery, které jsou umístěny místo původních klínů. Pro tento návrh spoje a odpovídající krouticí moment byla vypočítána velikost napětí ve smyku 28 MPa a působící měrný tlak 87 MPa. Nevýhodou tohoto spojení je lícování per na boky drážek, které proces montáže značně prodlužují.

Nejvýhodnější variantou spojení je použití kuželových kolíků a rozpěrných pouzder pro nově vyrobené spojované součásti. Tyto součásti mají dostatek materiálu pro možnost použití většího počtu pouzder, které již budou splňovat pevnostní kontrolu na dovolené napětí ve smyku a otlačení. Tím odpadá nutnost použití kombinovaného spoje, který je výrobně a časově náročnější.

U generálních oprav kovacích lisů je důležité zvážit možnost použití dosavadních součástí. Výroba nové výstředníkové hřídele způsobuje navýšení času potřebného k výrobě polotovaru a jeho kompletnímu opracování. V případě rozhodnutí o použití demontované výstředníkové hřídele je z hlediska bezpečnosti nutné provést penetrační zkoušku na trhliny. Trhliny se nejčastěji vyskytují v přechodovém rádiusu na výstředném průměru, který je při provozu stroje nejvíc zatěžován. Provedením této zkoušky nebyly zjištěny žádné trhliny a bylo rozhodnuto o možnosti dalšího použití. Na výstředníkové hřídeli jsou uložena bronzová kluzná ložiska, která se při generální opravě vyměňují za nová a válcové plochy na hřídeli se renovují soustružením a následně se válečkují.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

[1] Mezinárodní strojírenský veletrh. *BVV* [online]. [cit. 2016-11-10]. Dostupné z: http://www.bvv.cz/msv/aktuality/cesti-vyrobci-obrabecich-a-tvarecich-stroju-cekaji/

[2] Aktivity výrobních podniků SST oboru obráběcích a tvářecích strojů v Číně. *Svaz strojírenské technologie* [online]. [cit. 2016-11-11]. Dostupné z: http://www.sst.cz/cs/media-cr/napsali-o-nas/573-aktivity-vyrobnich-podniku-sst-oboru-obrabecich-a-tvarecich-stroju-v-cine.

[3] Od Storka až po Šmeral. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/clanek/od-storka-az-po-smeral.html

[4] *Šmeral Brno a.s.* [online]. [cit. 2016-12-22]. Dostupné z: http://www.smeral.cz/

[5] KOPECKÝ, Miloslav a Bedřich RUDOLF. *Tvářecí stroje: mechanické a hydraulické lisy: určeno pro posl. fak. strojní v Praze, Plzni, Brně a Bratislavě*. Praha: SNTL, 1967. Učební texty vysokých škol.

[6] KAMELANDER, Ivan. *Tvářecí stroje*. Díl 2. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1989.

[7] RUDOLF, Bedřich a Miloslav KOPECKÝ. *Tvářecí stroje: základy stavby a využití*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985. Technický průvodce.

[8] KAMELANDER, Ivan. *Tvářecí stroje*. [Díl] 1. 3. vyd. Praha: MON, 1989. Učební texty vys. škol. ISBN 80-214-1037-X

[9] Výstředník. *Wikipedie* [online]. [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDst%C5%99edn%C3%ADk

[10] ŠVEC, Vladimír. *Části a mechanismy strojů: spoje a části spojovací*. Vyd. 3. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-04138-3.

[11] KLETEČKA, Jaroslav a Petr FOŘT. *Technické kreslení*. Brno: Computer Press a.s., 2007. ISBN 978-80-251-1887-0.

[12] KŘÍŽ, Rudolf. *Stavba a provoz strojů: učebnice stř. prům. škol strojnických*. 1. díl, Části strojů. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1977. Řada strojírenské literatury.

[13] HOSNEDL, Stanislav a Jaroslav KRÁTKÝ. *Příručka strojního inženýra: obecné strojní části*. 1, Spoje, otočná uložení, hřídelové spojky, akumulátory mechanické energie. Praha: Computer Press, 1999. Edice strojaře. ISBN 80-7226-055-3.

[14] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3. vyd. Praha: Scientia, s.r.o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

[15] Frézování drážek: Přehled. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2017-01-13]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/slot_milling/overview/pages/default.aspx

[16] STAVINOHA, Zdeněk. *Frézování drážek - prezentace*. [online]. Digitální učební materiály - Technologie frézování. Internetový portál COPTEL, 2009-2014 [cit. 2017-01-13]. Dostupné z: http://coptel.coptkm.cz/?action=2&doc=39727&docGroup=-1&cmd=0&instance=2

[17] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 2. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia [online]. Brno: VUT v Brně, FSI, Ústav strojírenské technologie, 2004 [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf.

[18] DOBROSLAV NĚMEC A KOLEKTIV. *Strojírenská technologie 3: Strojní obrábění*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1979.

[19] BARTOŠ, Libor. *Technologie 2. ročník: Obrábění*. Lipová-lázně, 2008. Dostupné z: http://oulipova.cz/vyuka/strojari/Obrabeni.pdf

[20] BOTHE, Otakar. *Strojírenská technologie IV: pro strojírenské obory*. 3. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1989.

[21] FIALOVÁ, D., GRADEK, V. *Zámečnické práce a údržba, Technologie 2. díl*, Praha: Parta, 2007.

[22] KAREIS, Bedřich. *Technologie oprav*. Vyd. 1. Praha: Informatorium, 1995, 257 s. ISBN 80-854-2776-1.

[23] MIČKAL, Karel a Přemysl KOLÁŘ. *Strojní montáže*. Praha: SNTL, 1987.

[24] ŘASA, J., GABRIEL, V.: *Strojírenská technologie 3. díl*, Scientia, 2000.

[25] OUTRATA Jiří. *Technologie ručního zpracování kovů*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, n.p. Spálená 51, Praha 1, 1970, 188 s.

[26] ŠVAGR, Jiří a Jan VOJTÍK. *Technologie ručního zpracování kovů pro 1. ročník SOU*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1985.

[27] Katalog výrobků. *Merctech, BIAX* [online]. [cit. 2017-02-13]. Dostupné z: http://www.merctech.cz/cz/biax/katalogvyrobku.php?t=skrabaky&p=bl40

[28] Technologie zaškrabávání ploch kovových materiálů: Teorie zaškrabávání ploch. *Tumlikovo* [online]. [cit. 2017-02-13]. Dostupné z: http://www.tumlikovo.cz/zaskrabavani-ploch-teorie/

[29] SKARBINKSI, M. SKARBINKSI J. *Technologicnosť konštrukcije strojov*. 1. vydání. Bratislava: Alfa 1982. 490 s isbn 63-161-82

[30] Čepové a kolíkové spoje. *MITCALC* [online]. [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: http://www.mitcalc.com/doc/pins/help/cz/pinstxt.htm

[31] Spojovací součásti a spoje. *Učíme v prostoru - vzdělávací 3D encyklopedie* [online]. [cit. 2017-04-13] Dostupné z: http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2315

[32] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.

[33] Spojovací materiály: Závlačky, kolíky, pera, čepy. *Killich* [online]. [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: http://www.killich.cz/spojovaci-materialy/zavlacky-koliky.htm

[34] Přehled vlastností ocelí 51CrV4. *Bolzano* [online]. [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-zuslechtovani-podle-en-10083-1/prehled-vlastnosti-oceli-51crv4

[35] Mechanické vlastnosti ocelí. *T-PROM* [online]. [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: http://www.tprom.cz/mechanicke-vlastnosti-oceli

[36] Locking Devices. *RINGFEDER POWER TRANSMISSION* [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: http://www.ringfeder.com/en/international/products/ringfeder/?g=381

[37] ZEMČÍK, Oskar. *Technologická příprava výroby.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2219-X.

[38] Normalizované polotovary. *Učíme v prostoru - vzdělávací 3D encyklopedie* [online]. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2601

[39] Profilová ocel. *FERONA* [online]. [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: http://www.ferona.cz/cze/index.php

[40] *Kurz tepelného zpracování: učební texty*. Praha: Ecosond, 2009. ISBN 978-80-904462-1-2.

[41] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM, c1999. ISBN 80-7204-130-4.

[42] JANYŠ, Bohumil a Karel RAFTL. *Soustružník: technologie pro 1. ročník OU a UŠ: učební obor 0441 - soustružník kovů*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1968. Řada strojírenské literatury.

[43] Vyhrubování a vystružování válcových a kuželových děr. *ELUC* [online]. [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1214

[44] JAGOŠOVÁ, Helena. *Soustružení kuželových ploch - metody*. [online]. Digitální učební materiály - Technologie obrábění. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: http://coptel.coptkm.cz/?action=2&doc=39727&docGroup=-1&cmd=0&instance=2

[45] Nástroje na soustružení. *Landsmann* [online]. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: http://www.landsmann.cz/nastroje-nastroje-na-soustruzeni-noze-na-soustruzeni-dle-pouziti_c674.html

[46] BARTOŇOVÁ, Renáta. *Technologie broušení*. [online]. Elektronická učebnice. 2012 [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: http://coptel.coptkm.cz/?action=2&doc=39727&docGroup=-1&cmd=0&instance=2

[47] Jak vybrat brusný kotouč. *Techcentrum - prodej brusiva* [online]. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: http://www.prodejbrusiva.cz/jak-vybrat-brusny-kotouc

[48] Manipulace s materiály. *Skanska* [online]. [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: http://www.skanska.cz/cdn-1cf6659f1c229f0/Global/About%20Skanska/Sustainability/Downloads/Bezpecnostni%20standardy/02_manipulace%20s%20materi%C3%A1ly.pdf

[49] ZACH, Milan. *Soustružení výstředných ploch*. [online]. Digitální učební materiály - Obrábění - soustružení. [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: http://web.sstzr.cz/download/sablony/t-3r-obrab_soustruzeni-16.pdf

[50] KONOP, Josef a Josef JOHÁNEK. *Soustružení při složitém upínání, pokrokové metody, zvláštní druhy soustružení*. [online]. Digitální učební materiály - Obrábění - soustružení. [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: http://www.soudom.cz/files/odborny_vycvik_-_kovo_1-/vy-inovace-05.11.pdf

[51] Katalog soustružení firmy Pramet Tools s.r.o: Soustružení. *ECatalog Pramet Tools s.r.o.* [online]. [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: http://ecat.pramet.com/

[52] Kapilární zkouška. *TECHNOTEST s.r.o* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: http://www.technotest.cz/kapilarni_zkouska

[53] Penetrační zkoušky. *Údržba* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: http://www.udrzba.cz/penetracni-zkousky

[54] VOJŠKO, Vladimir Osipovič. *Válečkování strojních součástí*. Praha: Průmyslové vydavatelství, 1951. Knižnice kovoprůmyslu.

[55] Válečkování. *OCTOPUSTOOLS* [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: http://www.octopustools.com//me-valeckovani.php

[56] Katalog frézování firmy Pramet Tools s.r.o: Soustružení. *ECatalog Pramet Tools s.r.o.* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: http://ecat.pramet.com/

[57] Vrtání. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/drilling/application_overview/Pages/default.aspx

[58] Frézování: Díry a dutiny. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities/pages/default.aspx

[59] Katalog frézování firmy Pramet Tools s.r.o: Soustružení. *ECatalog Pramet Tools s.r.o.* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://ecat.pramet.com/

[60] Rovné dno díry jedním nástrojem. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: http://m.mmspektrum.com/clanek/rovne-dno-diry-jednim-nastrojem

[61] Akademie CNC obrábění (44). *Technický týdeník* [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc-obrabeni/akademie-cnc-obrabeni-44_8579.html

[62] Upínač pro šroubovací frézy s válcovou stopkou. *WNT* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: https://www.wnt.com

[63] Frézování: Kruhová interpolace. *ISCAR* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: https://www.iscar.com/eCatalog/Products.aspx?mapp=ML&app=132

[64] Doporučené řezné podmínky pro vystružování. *M&A* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: https://katalog.mav.cz/data/upload/files/45050-doporucene-rezne-podminky-pro-vystruzovani-vyhrubovani-a-zahlubovani.pdf

[65] Mýty a polopravdy o řezných kapalinách a olejích. *SAPTEC* [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: http://www.saptec.cz/myty_o_reznych_kapalnach_a_olejich.php

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka	Jednotka	Popis
CNC	[-]	Počítačem řízený stroj
HSS	[-]	Rychlořezná ocel
NC	[-]	Číslicově řízený stroj
VBD	[-]	Vyměnitelná břitová destička

Symbol	Jednotka	Popis
A	[%]	Tažnost
a_p	[mm]	Šířka záběru ostří
b	[mm]	Šířka pera
d	[mm]	Průměr obrobku
D_b	[mm]	Roztečný průměr kolíků brzdy
d_k	[mm]	Průměr kolíku
d_{pv}	[mm]	Největší průměr součásti s přídavkem
D_s	[mm]	Roztečný průměr kolíků spojky
d_{smax}	[mm]	Největší průměr součásti
F_1	[N]	Působící síla na jeden kolík
f_a	[mm]	Axiální posuv při broušení
F_b	[N]	Působící síla na jeden kolík u brzdy
f_d	[mm]	Posuv za dvojzdvih
f_n	[mm]	Posuv na otáčku
F_s	[N]	Působící síla na jeden kolík u spojky
f_z	[mm]	Posuv na zub
h	[mm]	Výška pera
i_b	[-]	Počet kolíků pro brzdu
i_s	[-]	Počet kolíků pro spojku
k	[-]	Koeficient nerovnoměrného zatížení
K	[-]	Kuželovitost
KV	[J]	Nárazová práce
$l_{k(b)}$	[mm]	Délka kolíku pro brzdu

$l_{k(s)}$	[mm]	Délka kolíku pro spojku
l_p	[mm]	Délka pera
$M_{k(b)}$	[N.m]	Přenášený moment brzdy
$M_{k(s)}$	[N.m]	Přenášený moment spojky
KV	[J]	Nárazová práce
n_p	[-]	Počet per
p	[MPa]	Měrný tlak
p_c	[mm]	Přídavek na průměr
p_d	[mm]	Dovolený měrný tlak
Ra	[µm]	Střední aritmetická úchylka profilu
Re	[MPa]	Mez kluzu
Rm	[MPa]	Mez pevnosti
r_ε	[mm]	Rádius špičky nástroje
S	[mm^2]	Plocha průřezu
T	[°]	Teplota
t_1	[mm]	Otlačovaná výška pera
v_c	[$m.min^{-1}$]	Řezná rychlost
v_w	[$m.min^{-1}$]	Obvodová rychlost obrobku
Z	[%]	Kontrakce
α	[°]	Vrcholový úhel
σ_{kt}	[MPa]	Mez pevnosti na únavu v krutu
σ_{oc}	[MPa]	Mez pevnosti na únavu v ohybu
σ_t	[MPa]	Mez pevnosti v tahu
τ_{ds}	[MPa]	Dovolené napětí ve smyku
τ_s	[MPa]	Napětí ve smyku

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výkres součásti – ROZPĚRNÉ POUZDRO

Příloha 2 Výkres součásti – KUŽELOVÝ KOLÍK

Příloha 3 Výkres součásti – ÚPRAVA VÝSTŘEDNÍKOVÉ HŘÍDELE

Příloha 4 Výkres součásti – ÚPRAVA OŘECHU SPOJKY

Příloha 5 Technologický postup – ROZPĚRNÉ POUZDRO

Příloha 6 Technologický postup – KUŽELOVÝ KOLÍK

Příloha 7 Technologický postup – ÚPRAVA VÝSTŘEDNÍKOVÉ HŘÍDELE

Příloha 8 Technologický postup – ÚPRAVA OŘECHU SPOJKY