



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKCE POLOAUTOMATICKÉHO PŘÍPRAVKU PRO SOUSTRUŽENÍ ZÁVITŮ NA KONVENČNÍM SOUSTRUHU

DESIGN OF SEMI-AUTOMATIC TOOL FOR THREAD MACHINING ON CONVENTIONAL
LATHE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Andrej Ondák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kryštof Dočkal

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování
Student: **Andrej Ondák**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Kryštof Dočkal**
Akademický rok: 2021/22

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

Konstrukce poloautomatického přípravku pro soustružení závitů na konvenčním soustruhu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vývoj automatizovaných obráběcích CNC zařízení v posledních 30 letech přinesl významný rozvoj v realizaci jednotlivých výrobních operací z hlediska snížení obráběcích časů, zvýšení efektivity zařízení, zvýšení přesnosti obrábění, ale také možnosti obrábění součástí komplexních tvarů. Vestrojírenském průmyslu je oproti tomu použití konvenčního hrotového soustruhu pro provedení určitých výrobních operací jako je např. řezání závitů spojeno s manuálním zásahem operátora a současně limitováno konstrukcí zařízení. Z tohoto pohledu je možné použít přípravků pro obrábění, které usnadní výrobní proces a zároveň zredukují manuální úkony operátora výroby.

Typ práce: vývojová – konstrukční

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem práce je konstrukční návrh poloautomatického přípravku pro soustružení závitů na konvenčním hrotovém soustruhu.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- zpracovat přehled současného stavu poznání v oblasti strojního obrábění závitů,
- realizovat návrh koncepčních variant konstrukčního řešení ovládacího mechanismu,
- zpracovat kompletní výkresovou dokumentaci navrženého přípravku.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

Seznam doporučené literatury:

HOFFMAN, Peter J., Eric S. HOPEWELL a Brian JANES. Precision machining technology. 2nd ed. New York: Cengage Learning, c2015. ISBN 978-1-285-44454-3.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIU, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.

TSCHÄTSCH, Heinz. Applied machining technology. Dordrecht: Springer, c2009. ISBN 978-3-642-01006-4.

WALKER, John R. a Bob DIXON. Machining fundamentals. 9th ed. Tinley Park, IL: Goodheart-Willcox Company, c2014. ISBN 978-1-61960-209-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

V nasledujúcej práci je rozobraný problém s manuálnym zásahom operátora do procesu sústruženia závitov na konvenčnom sústruhu. Pri sústružení závitov musí obsluha vykonať vysunutie noža, zastavenie stroja a reverzáciu chodu v priebehu jednotiek sekúnd. V texte je popísaný návrh prípravku riešiaceho tento problém zautomatizovaním niektorých krokov výrobného procesu. Preto boli navrhnuté tri koncepty prípravku s rôznymi hnacími mechanizmami. Spomedzi nich bolo vybrané jedno konštrukčné riešenie, ktorého funkcia bola početne overená. Čitateľ sa môže zoznámiť s celou konštrukčnou ideou stojacou za vytvorením prípravku na sústruženie závitov. Okrem iného sa môže oboznámiť s problémami, ktoré sa vyskytli pri konštruovaní daného prípravku a ich inžinierskym riešením.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

konvenčný sústruh, sústruženie závitov, prípravok na sústruženie závitov

ABSTRACT

Design of thread cutting rig reducing demands on machine operator of conventional lathes is shown in the following thesis. During thread cutting on lathe, operator must execute cutting tool extraction, stopping of the machine, and changing direction of the spindle in the span of few seconds. The design of an auto-retracting tool solves the problem by automatization of these steps of the production process. Therefore, three tool concepts were proposed differing in the cutting tool pull-out mechanism. One solution was chosen, whose function was substantiated by calculation. Reader can acquaint himself with construction idea behind this auto retracting tool for thread cutting. Among other things, reader can explore problems encountered during the process of the construction and its engineering solutions.

KEYWORDS

conventional lathe, thread cutting, auto retracting cutting tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

ONDÁK, Andrej. Konstrukce poloautomatického přípravku pro soustružení závitů na konvenčním soustruhu [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140024>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Kryštof Dočkal.

POĎAKOVANIE

Na tomto mieste by som rád poďakoval predovšetkým vedúcemu práce pánovi inžinierovi Kryštofovi Dočkalovi, rovnako však aj pánovi inžinierovi Jiřímu Křupkovi za ich čas a ochotu poskytnúť vecné rady a pomoc počas tvorby tejto práce. Rovnako musím uviesť poďakovanie pánovi Paulovi Hopewellovi za vynikajúcu inšpiráciu a odbornú konzultáciu. Ďalej si osobitnú zmienku zaslúži pán Luděk Bis, ktorý bol mimoriadne ochotný a poskytol vynikajúce materiály z technickej praxe vyskytujúce sa naprieč celou prácou. V neposlednom rade patrí moja vďaka všetkým, ktorí sa, či už priamo alebo nepriamo podieľali na pomoci pri tvorbe tejto práce.

PREHLÁSENIE AUTORA O PÔVODNOSTI PRÁCE

Prehlasujem, že bakalársku prácu som vypracoval samostatne, pod odborným vedením Ing. Kryštofa Dočkala a Ing. Jiřího Křupku. Súčasne prehlasujem, že všetky zdroje obrazových a textových informácií, z ktorých som čerpal, sú riadne citované v zozname použitých zdrojov.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	PREHLAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA	14
2.1	Závity	14
2.1.1	Funkcia závitú	14
2.1.2	Podmienky funkcie závitov	16
2.1.3	Požadované parametre	18
2.2	Výroba závitov	19
2.2.1	Prehľad technológií	19
2.2.2	Technológia sústruženia	22
2.2.3	Kľúčové parametre sústruženia s dopadom na závit	22
2.3	Proces rezania závitov	23
2.3.1	Kinematika rezania	23
2.3.2	Dynamika rezu	26
2.3.3	Materiály používané na rezanie	27
2.3.4	Procesy pri rezaní	29
2.4	Technologický postup	29
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CIEĽ PRÁCE	31
3.1	Analýza problému	31
3.2	Cieľ práce	31
4	KONCEPČNÉ RIEŠENIA	33
4.1	Spoločné konštrukčné skupiny	33
4.1.1	Základný mechanizmus	33
4.1.2	Upínanie na stroj	34
4.1.3	Vypínanie aretácie noža	35
4.2	Varianty koncepčného riešenia	35
4.2.1	Variant s vačkou	36
4.2.2	Variant s kľukou	38
4.2.3	Variant s prepákováním	39
5	KONSTRUKČNÉ RIEŠENIE	42
5.1	Vstupné parametre	43

5.2	Výber a kontrola vratnej pružiny	44
5.2.1	Kontrola bodu A	46
5.2.2	Kontrola bodu B	47
5.2.3	Kontrola bodu C	47
5.3	Kontrola noža	48
5.4	Vačka a jej uloženie	50
5.5	Brit a jeho uloženie	54
5.6	Upínanie pružiny	55
5.7	Vedenie noža	56
5.8	Konštrukčný uzol záchytu	57
5.9	Výroba, montáž, údržba a servis	58
6	DISKUSIA	59
7	ZÁVER	61
8	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	62
9	ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK, SYMBOLOV A VELIČÍN	64
10	ZOZNAM OBRÁZKOV A GRAFOV	68
11	ZOZNAM TABULIEK	70
12	ZOZNAM PRÍLOH	71

1 ÚVOD

Sústruženie ako technologická operácia je jedným z najjednoduchších druhov trieskového obrábania s definovanou geometriou noža. Používame ho k obrábaniu väčšiny rotačných tvarov, a preto sa považuje za neoddeliteľnú a hojne využívanú súčasť obrábacieho procesu. Aj napriek pomernej jednoduchosti tejto operácie sa jedná o proces náročný na obsluhu. Náročnosť je spôsobená vysokými požiadavkami na pozornosť obsluhy z dôvodu potreby vykonávať viacero rôznych úkonov v rozsahu jednotiek sekúnd. V prípade nedostatočnej pozornosti, neskorej reakcie alebo nesprávnej koordinácie pohybov dochádza k zničeniu obrobku, noža, stroja a v najhoršom prípade k zraneniu obsluhy.

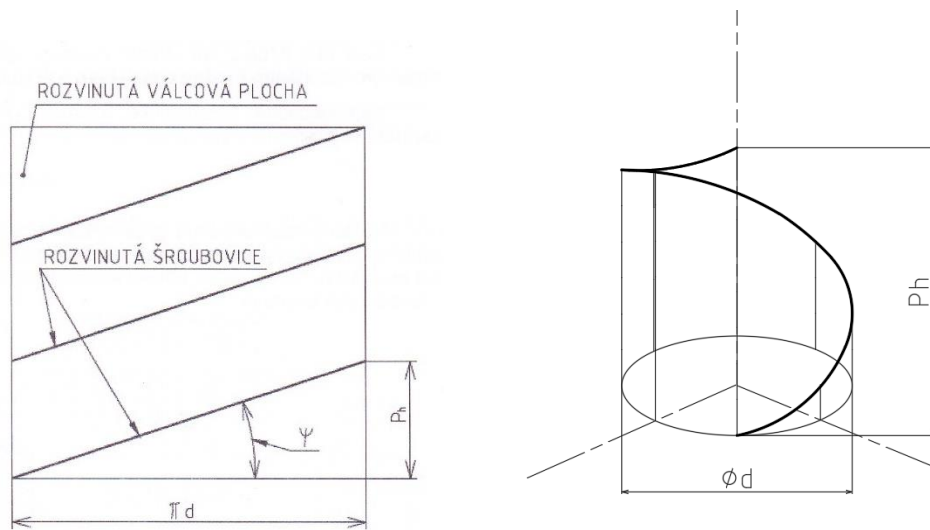
Často realizovanou operáciou kde je potrebné synchronizovať viacero úkonov je výroba závitov, predovšetkým v miestach kde nôž opúšťa rez a vchádza do výbehu závitu. Prípravok zaisťujúci automatické odtiahnutie nástroja od obrobku eliminuje chyby spôsobené pomalou reakciou obsluhy. Tento nápad nie je nový a viacero strojov bolo vyrobených práve pre tento konkrétny účel. Realizácia daného prípravku by teda mala byť taká, aby bolo možné ho namontovať na väčšinu bežných univerzálnych hrotových sústruhov bez väčšieho zásahu do ich konštrukcie. Jednoduchá montáž a demontáž by mali byť základným predpokladom, aby bolo dosiahnuté nízkeho neproduktívneho času stroja počas odstávky.

Aj napriek faktu, že hrotové sústruhy začínajú byť minulosťou a moderným fabrikám začínajú kralovať NC a CNC stroje, prípravok nájde svoje uplatnenie v malosériovej a prototypovej výrobe. Mnohé fabriky, ako aj jednotlivci bez prístupu k CNC strojom vlastnia a používajú konvenčné hrotové sústruhy práve na malé prípadne overovacie série a na výrobu, na ktorú sa neoplatí prestavovať a programovať drahé CNC stroje. Práve týmto subjektom by mal byť prípravok určený, aby dosahovali lepšej kvality a spoľahlivosti výroby a odľahčili obsluhu stroja.

2 PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

2.1 Závity

Závit je základným spojovacím prvkom väčšiny strojných súčastí, komponent, zostáv a celkov. Jeho základ tvorí opis tvoriacej krivky po závitnici. Závitnica je geometricky určená súčasným pohybom bodu po valcovej ploche v smere osi tejto plochy a rotáciou okolo osi tejto plochy.



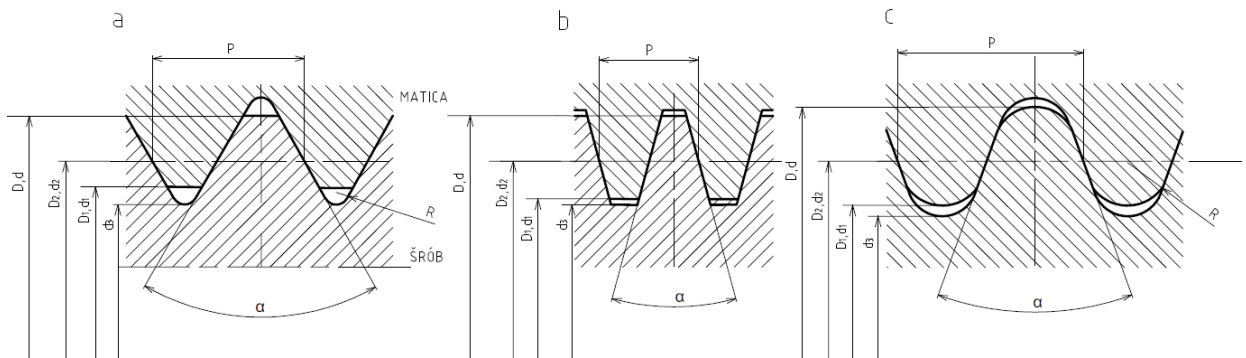
Obr. 2-1 Geometria rozvinutej závitnice [1], závitnica v kolmej axonometrii

2.1.1 Funkcia závitú

Funkcia závitú je závislá od tvaru tvoriacej krivky, uhlu stúpania a počtu chodov. Závity sa bežne používajú nie len pre spojovacie aplikácie, ale aj na prenos pohybu rotačného na posuvný a naopak. Presnejšie delenie závitov je nasledovné:

- a) Podľa zmyslu navinutia závitnice na tvoriacu plochu na:
 - Pravotočivé
 - Ľavotočivé
- b) Podľa počtu navinutých závitníc na tvoriacu plochu na:
 - Jednochodé
 - Viacchodé
- c) Podľa samosvornosti na:
 - Samosvorné

- Nesamosvorné
- d) Podľa tvaru tvoriacej plochy na:
- Kuželové
 - Valcové
- e) Podľa funkcie na:
- Spojovacie
 - Pohybové
- f) Podľa profilu závitú: vid' Obr. 2-2



Obr. 2-2 Profily závitov: (a) metrický, palcový, Whitworthov, trubkový (b) lichobežníkový (c) oblý [1]

Použitie jednotlivých závitov je podmienené funkčnou rozvahou v mieste implementácie. V technickej praxi je v drvivej väčšine prípadov využitý pravotočivý zmysel stúpania závitú. Ľavotočivý zmysel sa využíva v prípade, že to vyžaduje konštrukčná situácia a to vtedy, ak by pravotočivý závit nesplnil svoj účel. Pre príklad uvedieme montážny prípravok na zasunutie brzdových valcov v brzdíčkoch spojených s ručnou brzdou pri výmene brzdového obloženia. Ďalšie bežné použitie je na kotúčových brúskach, kde zmysel otáčania musí byť zhodný so zmyslom ťahovania matice, aby nedošlo k uvoľneniu kotúča.

Samosvornosť závitú je daná uhlom stúpania závitú ψ a trecím uhlom φ medzi dosadacími plochami závitú. Trecí uhol je veličina, ktorá geometricky interpretuje pôsobenie trenia na povrch telesa. Trecí uhol je funkciou súčiniteľa šmykového trenia f .

$$\text{Trecí uhol potom vyjadríme: } \varphi = \tan^{-1}(f) \quad (1)$$

Prihliadajúc na vzájomný vzťah týchto dvoch veličín delíme závitú na samosvorné a nesamosvorné. Za samosvorný závit pokladáme taký, kde platí relácia [2]:

$$f > \tan(\psi) \cos(\alpha/2) \quad (2)$$

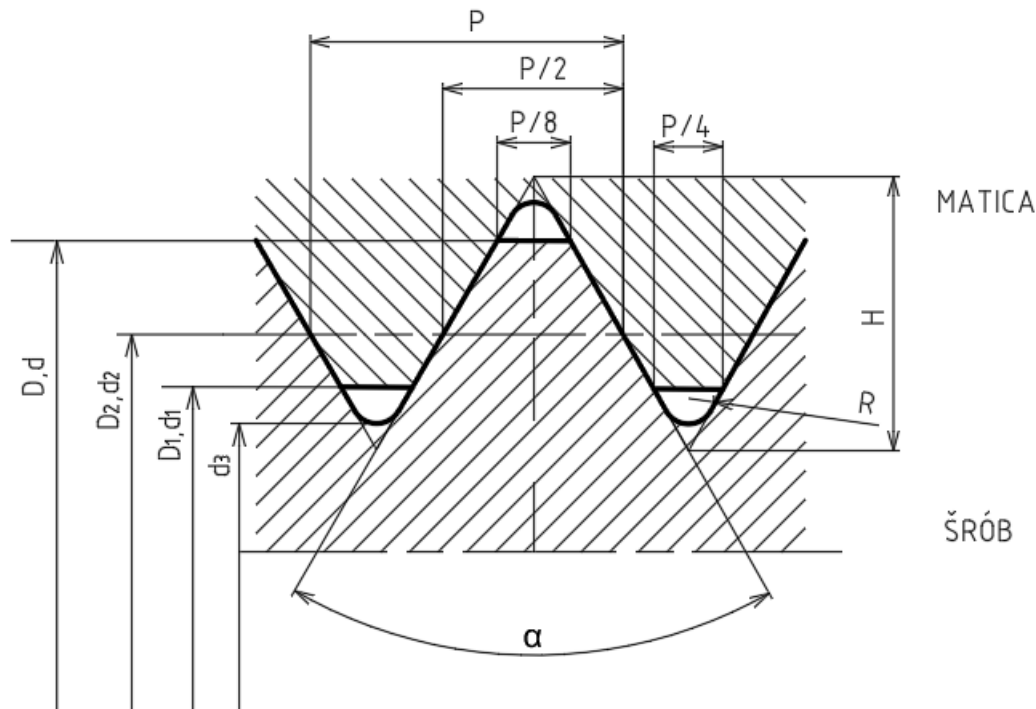
V takomto prípade pri vztýčení závitú do vertikálnej polohy matica ostane na mieste a nedôjde k jej uvoľneniu.

Namotanie závitnice ako tvoriacej krivky nie je závislé na tvoriacej ploche, a preto môžeme túto plochu zvoliť ľubovoľne. V praxi sa osvedčili len plochy valcové a kužeľové. Zatiaľ čo použitie valcových závitov je úplne bežné a všestranné, použitie kužeľových závitov je špecifické. Kužeľové závitky nachádzajú svoje uplatnenie predovšetkým pri zvýšenej potrebe tesnosti spoja. Príkladom takého spoja je pripájanie mazacích hlavíc na jednoduchú dopravu plastického maziva na miesto určenia pod tlakom [3]. Ďalšou oblasťou použitia je odvetvie montáže kúrenia, chladenia a vzduchotechniky.

Spojovacie závitky svojím názvom vystihujú dostatočne svoju funkciu. Ich určenie je na mechanické rozoberateľné spojenie konštrukčných celkov. V opačnom prípade máme závitky pohybové, ktoré premieňajú pohyb otáčavý na pohyb posuvný a naopak. S takouto implementáciou v praxi sa môžeme stretnúť od jednoduchých zdvihákov na osobné automobily, až po pohybové šróby obrábacích strojov staršej konštrukcie.

2.1.2 Podmienky funkcie závitov

Profil závitky sa nachádza v normálovom reze závitom. Na tomto reze sa určuje geometria, ktorá je záväzná a podlieha norme ČSN ISO 68-1. Normalizácia termínov a rozmerov zjednodušuje výrobu a zaručuje vymeniteľnosť [4]. Pre príklad uvádzame profil metrického závitky ako najpoužívanejší a najrozšírenejší v technickej praxi.



Obr. 2-3 Profil metrického závitky [4]

Kóty na Obr. 2-3 popisujú [4]:

- α -Vrcholový uhol závitú ($^{\circ}$)
- P-Rozteč závitú (mm)
- D-Veľký priemer vnútorného závitú (menovitý priemer) (mm)
- d-Veľký priemer vonkajšieho závitú (menovitý priemer) (mm)
- D₂-Stredný priemer vnútorného závitú (mm)
- d₂-Stredný priemer vonkajšieho závitú (mm)
- D₁-Malý priemer vnútorného závitú (mm)
- d₁-Malý priemer vonkajšieho závitú (mm)
- R-Polomer zaoblenia dna závitú (mm)
- H-výška základného trojuholníka (mm)

V praxi sa vo veľkej miere používajú závitú rôznych prevedení, avšak všetky majú spoločné to, že podliehajú normalizácii. To znamená, že musia odpovedať systému tolerancií. V našich končinách sú najbežnejšie metrické závitú podliehajúce tolerančnému systému ISO [1].

Systém tolerancií vo všeobecnosti zaručuje vzájomnú zameniteľnosť súčastí v sériovej a hromadnej výrobe. Vychádzame z toho, že skutočný rozmer súčasti sa nachádza medzi dvoma medznými rozmermi, s tým, že medzné rozmery ešte spoľahlivo zaručia funkčnosť uloženia.

V prípade závitových spojení je systém tolerancií podobný, s tým rozdielom, že tolerujeme konkrétny profil závitú. Presnosť závitú potom podľa ISO charakterizujú: Tolerančný stupeň závitú, poloha tolerančného intervalu priemeru závitú a doporučené kombinácie tolerančných stupňov a polôh intervalov. Spolu s toleranciou závitú úzko súvisí aj jeho drsnosť. Vo všeobecnosti sa snažíme dosiahnuť čo najlepšiu kvalitu profilu povrchu, pretože ten priamo súvisí s výslednou stykovou tuhosťou šróbového spoja.

V technickej praxi dochádza pri výrobe sporadicky ku kontrole vybraných výrobkov pomocou kalibrov. Kaliber je merací nástroj vyrobený z nástrojovej ocele, lapovaný na presný rozmer. Pomocou kalibru sa kontroluje, či daná súčasť dosahuje predpísané tolerancie. V prípade tolerovaných závitov sa používa matica z jednej strany označená ako správny rozmer a z druhej strany ako chybný. V prípade vyrobenia vyhovujúceho kusu sa kaliber vyskúša správnou stranou a našróbuje sa bez problémov a pri vyskúšaní chybnéj strany kaliber nie je možné namontovať. Vo všetkých ostatných prípadoch sa jedná o nezhodný kus a je nutné ďalšie obrobenie, alebo je kus vyrobený pod rozmer a náprava už nie je možná.

V prípade absencie kalibru sa meria závit pomocou mikrometra a špeciálnych závitových tyčínok. Tyčinky sa vložia do závitov v mieste merania umiestnené voči sebe na protichodných stranách obrobku. Následne sa na tieto tyčinky umiestni mikrometer a odčíta sa nameraná hodnota. Tá sa porovná s teoretickou a vyhodnotí sa správnosť vyhotovenia. Táto metóda vyžaduje použitie tabuliek, z ktorých sa vyhodnotí použité správne priemeru tyčínok a tým aj celková správnosť merania.

2.1.3 Požadované parametre

Aby sme dosiahli uspokojivého výsledku pri výrobe závitov, je potrebné predovšetkým dosiahnuť správnu rozteč závitov, profil tvoriacej krivky, požadovanú toleranciu a s ňou súvisiacu drsnosť povrchu.

Pre funkčnosť závitov majú kľúčovú úlohu predovšetkým rozteč, profil tvoriacej krivky a tolerancia. Ak na matici a šróbe tieto tri požiadavky nie sú v zhode, nemôže dôjsť k funkčnému spojeniu.

2.2 Výroba závitov

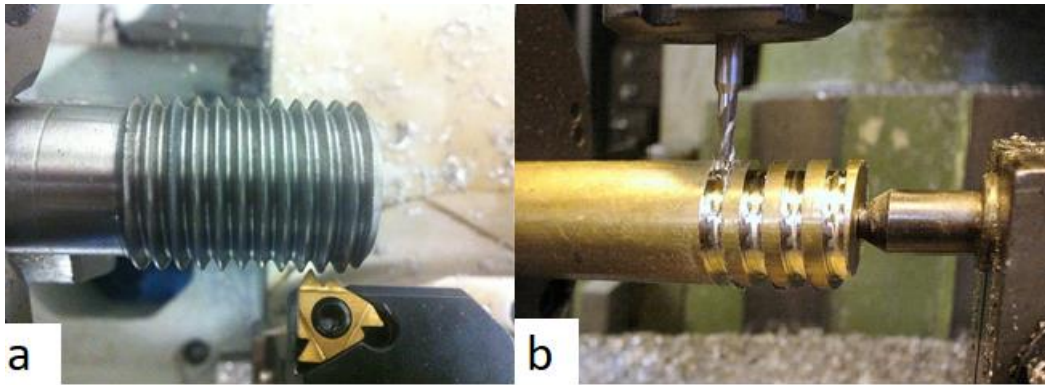
Výrobu závitov môžeme deliť na závitov vyrábané ručne a strojne. Ručne vyrábané závitov tvoria len malú a nepodstatnú časť všetkých vyprodukovaných, preto sa o nich zmienime len okrajovo. Zameriame sa predovšetkým na závitov obrábané strojne a to predovšetkým kusovo alebo malosériovo. Veľkosériová výroba nie je v našom prípade podstatná, pretože tá je vo veľkej miere plne automatizovaná a dosahuje výrobné časy ktorým sa človek môže len ťažko priblížiť.

2.2.1 Prehľad technológií

Strojne vyrábané závitov v kusovej a malosériovej výrobe obrábame na konvenčných strojoch obvyklými metódami. Tieto metódy sú:

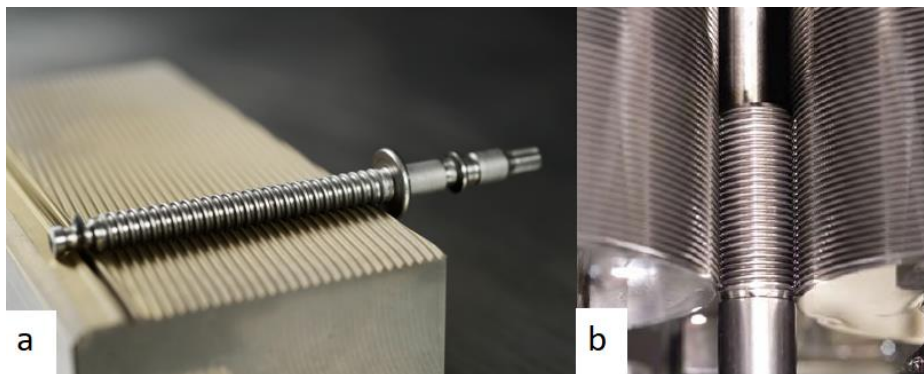
- a) **Sústruženie** je vo svojej podstate proces odrezávania triesky z povrchu rotačne symetrického telesa za účelom vytvorenia konkrétnej plochy. Použitie tejto technológie je veľmi variabilné, čo znamená, že je možné vyrobiť rôzne priemery závitov s rôznym stúpaním, profilom a toleranciou. Táto variabilita však so sebou prináša aj vysokú operatívnu náročnosť pre obsluhu. Pracovník obsluhujúci sústruh musí v krátkom okamihu vykonať tri operácie v podstate naraz. Riešenie tohto problému je hlavnou náplňou tejto práce, a preto bude o tejto problematike konkrétnejšie pojednané v nasledujúcich kapitolách.

- b) **Frézovanie** je špeciálnou operáciou, ktorou vyrábame predovšetkým posunové lichobežníkové závitov. Fréza má tvar závitovej medzery a je vyklonená pod uhlom stúpania daného závitov. Kinematika daného obrábacieho procesu si vyžaduje, aby na jednu otáčku obrobku fréza vykonala posuv o jedno stúpanie závitov. Táto technológia si vyžaduje presné nastavenie frézky spolu s upínaním a deliacim prístrojom zapriahnutým k pohonu posuvu. V dnešnej dobe túto výrobu preberajú špecializované stroje, prípadne numericky a počítačovo riadené obrábacie centrá. S príchodom týchto moderných technológií, prišla aj nová generácia tvarových fréz, ktoré sú schopné vyrobiť vonkajšie aj vnútorné závitov použitím planétového pohybu [5]. Planétovým pohybom rozumieme odvaľovanie frézy po obvode obrobku. Fréza pritom vykonáva pohyb po epicykloide (v prípade vonkajšieho závitov) a po hypocykloide (v prípade vnútorného závitov).



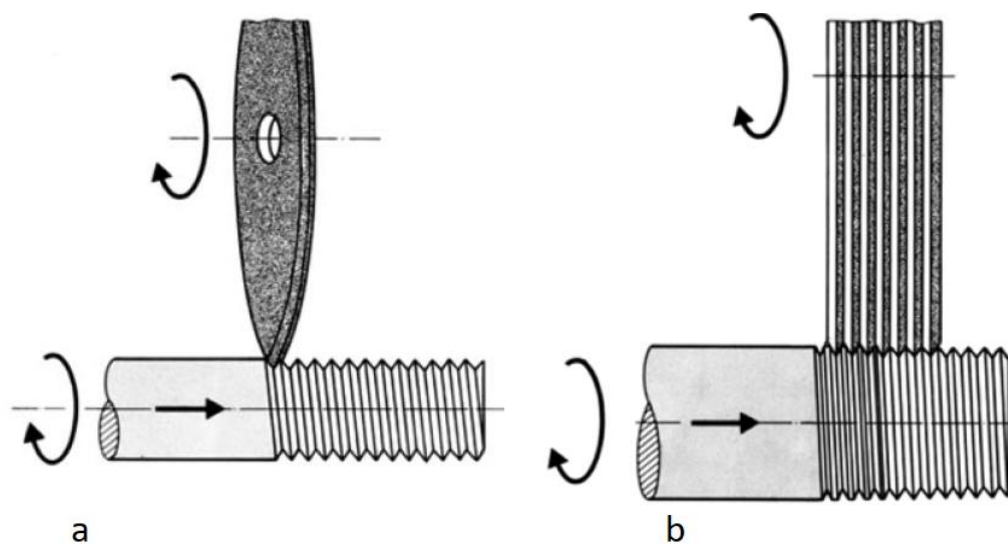
Obr. 2-4 (a) Sústruženie závitů [6] (b) frézovanie závitů [7]

- c) **Valcovanie** do seba zahŕňa valcovanie plochými čeľustami a kruhovými čeľustami. V zásade je obrobok podávaný do pracovných čeľustí a pri jeho otáčaní sa do neho otláči tvar profilu čeľustí. Výsledná štruktúra vytvoreného závitů je veľmi priaznivá, pretože nedochádza k oddeleniu jednotlivých vlákien, a preto závit dosahuje lepších mechanických vlastností. Vo všeobecnosti platí, že oba spôsoby valcovania sú veľmi produktívne.



Obr. 2-5 Valcovanie závitů (a) plochými čeľustami [8] (b) kotúčovými čeľustami [9]

- d) **Brúsenie** závitů možno považovať okrem dokončovacej operácie aj za operáciu samotného obrábania. Potom hovoríme o brúsení do plna. Obvykle vieme závit brúsiť do plna jednoprofilovým alebo hrebeňovým kotúčom. K tejto výrobnéj operácii sa uchýľujeme z pravidla keď potrebujeme dosiahnuť vysokú presnosť obrobku a pritom nízku drsnosť povrchu.



Obr. 2-6 Brúsenie (a) jednoprofilovým (b) hrebeňovým kotúčom [10]

Tab. 2-1 Porovnanie vybraných metód z pohľadu dosiahnuteľnej presnosti a drsnosti [11,12]

Metóda	Presnosť	Drsnosť (μm)
Sústruženie	IT6-7	Ra1,6-3,2
Frézovanie	IT6-8	Ra1,6-3,2
Valcovanie	IT5	Ra0,8-0,63
Brúsenie	IT4-5	Ra0,2-0,8

2.2.2 Technológia sústruženia

Sústruženie závitov z technologického hľadiska vo veľkosériovej výrobe nemá priestor, pretože bolo nahradené inými výkonnejšími a efektívnejšími metódami. Pravdou však ostáva, že ide o veľmi variabilný proces závisiaci predovšetkým na skúsenosti obsluhy a reznom nástroji. Táto variabilita spočíva v rozsahu možných priemerov obrobku, ale aj v stúpaní samotného závitu. Dokonca je možné pri niektorých sústruhoch meniť ozubené súkolia v hnacom mechanizme posunovej prevodovky pre dosiahnutie žiadaného prevodového pomeru. Tento zásah do konštrukcie stroja síce dovoľí meniť stúpania závitu, ale za cenu odstavenia stroja mimo produkčný čas.

Základným mechanizmom je odrezávanie triesky z medzizávitovej medzery pomocou závitového noža. Rezný proces je realizovaný rotáciou obrobku okolo svojej osi, pričom pohyb noža je funkčne závislý na pohybe obrobku. Takto dosahujeme vytvorenie správnej rozteče požadovaného závitu. Hĺbka závitu je nastavovaná obsluhou, pričom celá hĺbka závitu sa spravidla reže na viacero prechodov. Závit je z technologického hľadiska ukončený výbehom, aby nedošlo k poškodeniu noža medzi prechodmi.

Tento technologický proces dosahuje stupeň presnosti IT7 až IT6, pričom dosahuje drsnosť (3,2 až 1,6) vid' Tab. 2-1. Drsnosť daného povrchu je v prípade sústruženia závitov veľmi ťažko predikovateľná, pretože odoberanie materiálu závisí od spôsobu prísunu noža do rezu. V závislosti na prísune noža totiž odoberanie materiálu prebieha na viacerých britoch nástroja. To vnáša do rezu silové zaťaženie, ktoré sa veľmi ťažko kvantifikuje. Výsledkom môže byť rôzne zvlnenie povrchu, ktoré negatívne vplyva na funkčnosť výsledného výrobku [13].

2.2.3 Kľúčové parametre sústruženia s dopadom na závit

Z predošlých kapitol nám vyplýva, že pri sústružení závitu hrajú kľúčovú úlohu viaceré parametre. Medzi tieto parametre patria kinematické a dynamické pôsobenie medzi strojom a obrobkom, ale aj zásah obsluhy a samotná voľba rezného materiálu a nástroja. Medzi kinematické pôsobenie radíme reznú a posunovú rýchlosť. Do dynamického pôsobenia radíme výkon samotného stroja, silový rozklad na nástroji a aj kmitanie celej sústavy vybudenej rezným procesom. Nevhodným zvolením jedného z týchto parametrov vedie k znehodnoteniu obrobku, nástroja, stroja a bohužiaľ v početných prípadoch aj k zraneniu obsluhy.

Jediným parametrom ktorého spoľahlivosť neovplyvníme je zásah obsluhy pri sústružení. Aj napriek tomu, že pracovník obsluhujúci stroj môže byť mimoriadne skúsený, stále môže dôjsť k chybe z nepozornosti alebo istej nedbanlivosti. Toto riziko je znásobené tým, že sa jedná o opakovaný proces niekoľkých behov stroja prerušovaný premeriavaním správnosti rozmeru závitu.

2.3 Proces rezania závitov

2.3.1 Kinematika rezania

Kinematikou rezného procesu rozumieme opis pohybu nástroja a obrobku . V tejto kapitole sa zameriame na kinematické veličiny vyjadrujúce pohyb pomocou polohy, rýchlosti a zrýchlenia. Kinematika obecného rezného procesu vychádza zo vzťahov vyjadrujúcich funkčnú závislosť medzi priemerom obrobku, otáčkami vretena, reznou a posunovou rýchlosťou [5].

$$\text{Rezná rýchlosť: } v_c = \frac{\pi D n}{1000} \quad (\text{m} \cdot \text{min}^{-1}) \quad (3)$$

D -priemer obrobku (mm)

n -otáčky vretena (min^{-1})

$$\text{Posunová rýchlosť: } v_f = f n \quad (\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}) \quad (4)$$

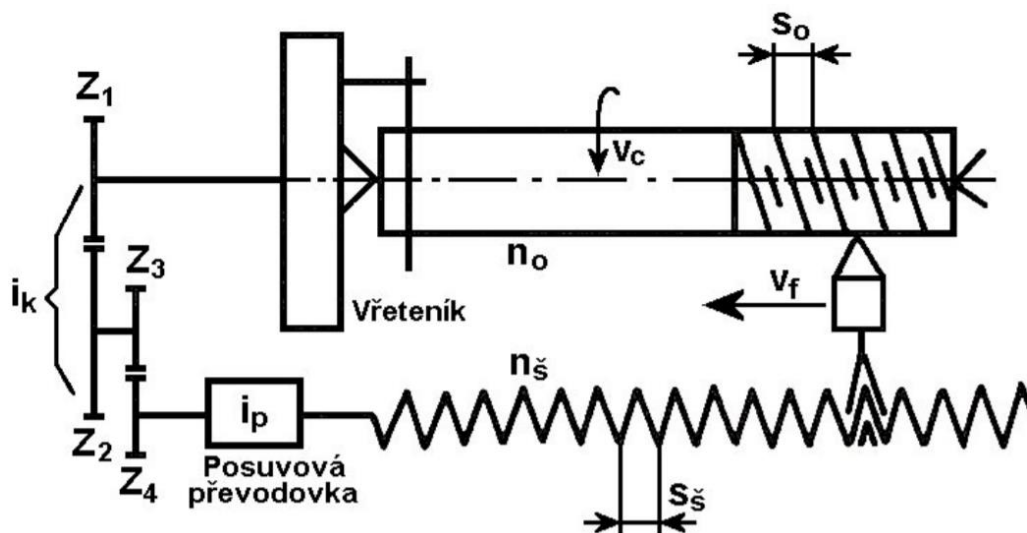
v_f -posunová rýchlosť ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)

f -posuv na otáčku obrobku (mm)

Spojením rezného a posunového pohybu dostaneme celkovú rýchlosť rezného pohybu:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} = n \cdot 10^{-3} \sqrt{(\pi D)^2 + f^2} \quad (\text{m} \cdot \text{min}^{-1}) \quad (5)$$

Do kinematiky sústruženia závitov taktiež patrí vzťah obrobku a stroja. Tento vzťah je kľúčový pre zaistenie funkčnosti konečného výrobku. V dnešnej dobe sa na produkciu sústružených závitov používa od konvenčných, revolverových, CNC až po špeciálne sústruhy. Všetky majú však spoločnú schému prevodového mechanizmu, ktorý zabezpečuje funkčnú závislosť medzi reznou a posunovou rýchlosťou tak, aby bol zabezpečený posuv suportu o jednu rozteč závitov za jednu otáčku vretena [5].



Obr. 2-7 Kinematika rezného pohybu pri výrobe závitu [5]

Na konvenčnom hrotovom sústruhu býva spravidla prevodovka, ktorá dovoľuje voliť medzi jednotlivými stupňami v závislosti, akú rozteč závitú je potrebné vyrábať. Pre uľahčenie obsluhy stroja je na skrini vreteníku tabuľka s polohami prevodových pák, príslušných otáčok a stúpaní závitov [5].

Jednoduchou úvahou a poznatkom o funkčnej závislosti medzi posunovou rýchlosťou a otáčkami obrobku vieme odvodiť rovnicu pre prevodový pomer medzi otáčkami vreteníka a vodiaceho šróbu.

$$v_f = n_o s_o \quad (6)$$

$$n_o s_o = n_s s_s \quad (7)$$

$$i = \frac{n_s}{n_o} = \frac{s_o}{s_s} = i_p i_k = i_p \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} \quad (8)$$

n_o -otáčky obrobku (min^{-1})

n_s -otáčky vodiaceho šróbu (min^{-1})

s_o -stúpanie závitú na obrobku (mm)

s_s -stúpanie vodiaceho šróbu (mm)

i -celkový prevod medzi vreteníkom a vodiacim šróbom

i_p -prevod posunovej prevodovky

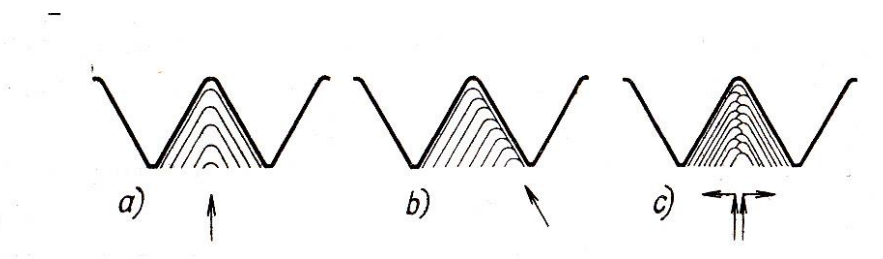
i_k -prevod vymeniteľnými ozubenými kolesami

z_i -počet zubov prevodových kolies, $i \in \{1; 2; 3 \dots n\}$

Ďalším podstatným pochodom, ktorý môžeme radiť do kapitoly kinematiky sústruženia, je spôsob prísunu noža do rezu. Spravidla sa celý profil závitú nevyreže na jeden prechod ale na niekoľko prechodov. Je niekoľko spôsobov prísunu noža a každý má svoje výhody a nevýhody ovplyvňujúce výslednú kvalitu obrobku [5,13].

- a) **Radiálny prísun** je najjednoduchší spôsob prísunu noža do rezu. Ide o priamočiary postupný prísun kolmý k ose obrobku. Odoberanie materiálu je realizované na oboch britoch noža, preto dochádza k rovnomernému opotrebeniu. Avšak pri väčších stúpaniach závitov dochádza ku kmitaniu, ktoré pôsobí nepriaznivo a je nutné sa mu vyvarovať [5].
- b) **Bočný prísun** je používaný hlavne pre závitú s väčším stúpaním a lichobežníkové závitú. Jeho podstatou je prísun noža po jednom boku profilu závitú. Týmto spôsobom sa znižuje opotrebenie špičky nástroja a dochádza k lepšiemu tvarovaniu triesky. Na druhú stranu dochádza k nerovnomernému opotrebeniu britov. Toto zapríčiňuje zhoršenie kvality povrchu na boku závitú, po ktorom bol tento prísun realizovaný.
- c) **Bočný prísun s odklonom** je vo svojej podstate totožný s bežným bočným prísunom, avšak nôž je vyosený o 3° až 5° voči boku profilu závitú. Týmto eliminujeme opotrebenie britu nástroja [5].
- d) **Striedavý prísun**, ako už názov napovedá, je striedanie britov pri jednotlivých prechodoch. Toto striedanie rozdeľuje zaťaženie ekvivalentne na oba brity, čím znižuje ich opotrebenie. Je nutné však počítat' s väčšími nárokmi na programovanie obrábacieho stroja.

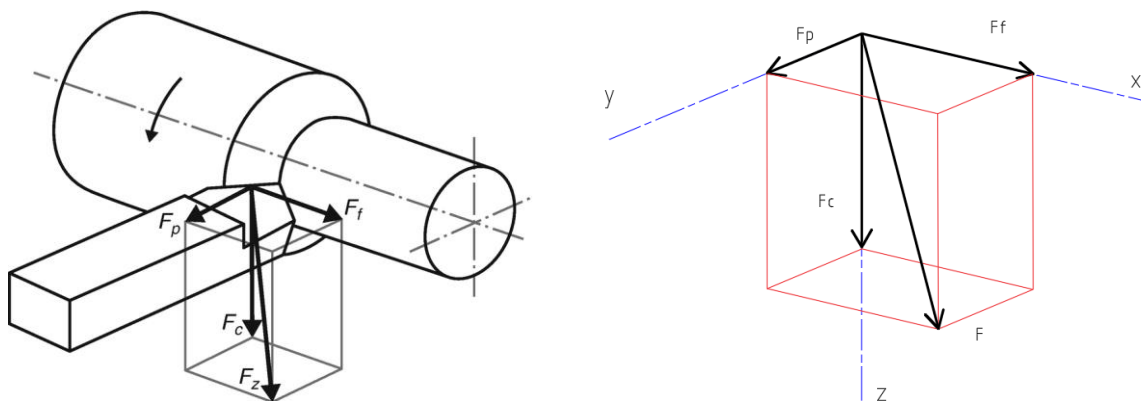
Pri poslednom vyhladzovacom prechode sa odporúča zvoliť radiálny prísun pre zhomogenizovanie akosti povrchu oboch bokov závitú.



Obr. 2-8 Spôsoby prísunu noža do rezu: (a) radiálny prísun (b) bočný prísun (c) striedavý prísun [13]

2.3.2 Dynamika rezu

Dynamika pri reznom procese sústruženia je netriviálnou záležitosťou, ktorá je len veľmi ťažko merateľná. Zavádzame pritom súradnicový systém v mieste kontaktu obrobku a nástroja. V orientácii súradnicových os zavádzame zložky rezných síl, ktoré sú rozkladom rezného odporu na menovitý prierez triesky (účinná plocha noža v reze odoberajúca triesku).



Obr. 2-9 Schéma rezného procesu [14]

F_C -rezná sila (N)

F_f -posunová sila (N)

F_p -pasívna sila (N)

F -celková rezná sila (N)

Pre vyjadrenie reznej sily zavádzame veličinu nazývanú merný rezný odpor. Merný rezný odpor má rozmer tlaku a vyjadruje rezistenciu materiálu podliehať trieskovému obrábaniu.

$$\text{Merný rezný odpor: } k_C = \frac{F_C}{A_D} \quad (\text{MPa}) \quad (9)$$

A_D -plocha menovitého prierezu triesky (mm^2)

Pre zložky reznej sily platia empirické vzťahy, ktoré udávajú závislosť medzi materiálovými vlastnosťami, posunom a šírkou záberu ostria [5].

$$\text{Zložka reznej sily: } F_f = C_{F_f} a_p^{x_{F_f}} f^{y_{F_f}} \quad (10)$$

f -posuv (mm)

a_p -šírka záberu ostria (mm)

C_F -materiálové konštanty

x_F -exponenty vplyvu šírky záberu ostria

γ_F -exponentny vplyvu posuvu

Pre zložku pasívnu a reznú použijeme ten istý vzťah iba s konkrétnymi konštantami pre daný smer sily.

Pytagorejským súčtom všetkých zložiek reznej sily dostávame celkovú reznú silu:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} \quad [\text{N}] \quad (11)$$

Všetky tieto veličiny sú však veľmi ťažko merateľné a ich hodnoty sú zistené experimentálne. Preto sa s výhodou používajú tabuľky rezných podmienok, prípadne častejšie kalkulačky na výpočet rezných podmienok voľne dostupné na stránkach výrobcov nástrojov [13]. Tieto tabuľky dávajú do súvisu reznú rýchlosť, rezný materiál, posunovú rýchlosť a šírku záberu ostria [5,13].

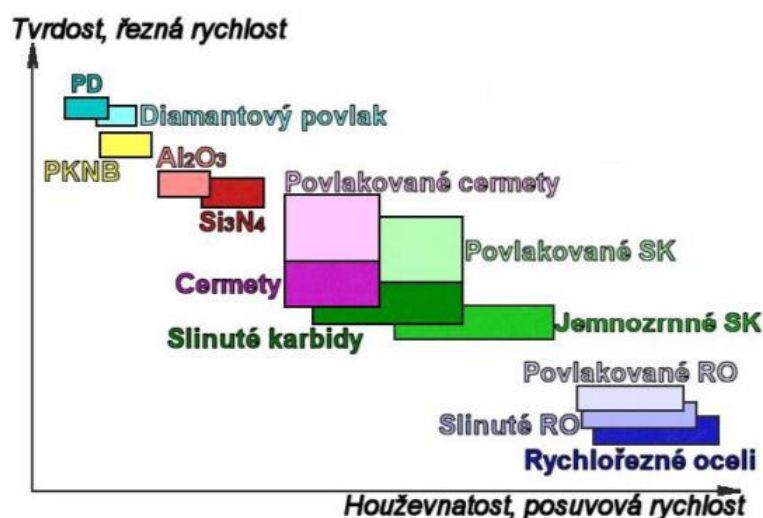
2.3.3 Materiály používané na rezanie

Dôležitou a nedielnou súčasťou rezných podmienok je aj použitý nástroj a predovšetkým rezný materiál. Rezný materiál svojimi vlastnosťami musí poskytovať vysokú tvrdosť, ale pritom dostatočnú húževnatosť po dostatočne dlhý čas. Tieto dve protichodné podmienky sa musia sklbiť, čo z toho robí pomerne zložitý technický problém, ktorého riešením je iba zopár skupín materiálov vhodných k trieskovému obrábaniu.

Tvrdosť a húževnatosť nie sú však jediné dôležité vlastnosti, ktoré rezný materiál musí poskytovať. Mimo iného musí poskytovať aj odolnosť voči oteru, teplotnú stálosť a izotropiu naprieč prierezom. Vývoj materiálového inžinierstva dosiahol markantné úspechy v tomto poli, a preto sme dnes schopní rapídne zvyšovať výkonnosť obrábania. Materiály na sústružnícke nástroje v dnešnej dobe vieme deliť na niekoľko skupín, a to:

- a) **Nástrojové ocele** je skupina materiálov určená na bežné použitie (napr. nožnice, pilníky, sekáče,...). Avšak rôznym legovaním, správnym mechanickým a tepelným spracovaním vieme dosiahnuť vynikajúce vlastnosti. Práve vysokolegované kované oceli nazývame rýchlorezné (HSS - high speed steel). Ide o najstarší a najbežnejší nástrojový materiál v hojnej miere používaný hlavne v prvej polovici minulého storočia. Rýchlorezná oceľ obsahuje podiel uhlíka v rozsahu 0,7 až 1,3 % a spravidla karbidotvorné prvky ako volfrám, molybdén, vanád, kobalt a chróm.
- b) **Slinuté karbidy (SK)** na rozdiel od rýchlorezných ocelí dosahujú vyššiu tvrdosť, avšak sú krehkejšie. Slinuté karbidy sú vyrábané práškovou metalurgiou, čo znamená, že namletý práškový karbid zmiešaný s kovovou maticou je lisovaný a následne spekaný. Tento výrobný postup znamenal revolúciu v produkcii rezných materiálov. Bežný slinutý karbid tvorí kobaltová matica a karbid volfrámu. Rôznymi prímiesami a rôznou veľkosťou zŕn WC dosahujeme rôzne vlastnosti, a potom tieto SK delíme na 6 skupín podľa ich ideálneho použitia.

- c) **Cermety**, jedná sa o spojenie keramiky a kovu. Dosahujú veľmi vysokej tvrdosti, ale majú nižšiu húževnatosť ako SK. V dnešnej dobe sa používajú hlavne na dokončovacie operácie, kde je potrebné dosiahnutie vysokých rezných rýchlostí, ktoré cermety znášajú veľmi dobre.
- d) **Rezná keramika**, verná svojmu menu, vyniká svojou tvrdosťou, ale jej húževnatosť a odolnosť voči rázom je nízka. Príčinou krehkosti reznej keramiky je nesmierne množstvo malých mikrotrhlín, ktoré pôsobia ako koncentrátoři napätia. V dnešnej dobe je táto keramika modifikovaná whiskermi (mikrovlákna SiC), čím sa zvyšuje jej húževnatosť. Rezná keramika nachádza svoje využitie pri dokončovacích operáciách.
- e) **Kubický nitrid bóru (PKNB, KNB)** je moderný supertvrдый rezný materiál. Je vyrábaný synteticky a svoje použitie nachádza v špeciálnych aplikáciách. Nevýhodou je vysoká cena, ktorá obmedzuje jeho použitie v miestach, kde iné rezné materiály nestačia.
- f) **Polykryštalický diamant (PD)** je ďalším synteticky vyrábaným supertvrдыйm rezným materiálom. Používa sa pre obrábanie neželezných kovov, kompozitov, keramiky a iných prírodných materiálov. Pre svoju vysokú afinitu k železu sa nesmie PD používať pri obrábaní ocelí a liatin.



Obr. 2-10 Porovnanie jednotlivých rezných materiálov podľa tvrdosti a húževnatosti [15]

Zvýšenie efektivity a životnosti rezných materiálov podmienilo vznik a vývoj povlakov. Povlaky na báze TiC, TiCN, TiN a ich kombinácie zvyšujú úžitkovú hodnotu nástroja zlepšujúc jeho mechanické vlastnosti. Zlepšenie je predovšetkým v tvrdosti a odolnosti voči opotrebovaniu. Tieto vlastnosti sú zapríčinené homogénnou štruktúrou a jemnými zrnami. Moderné generácie rezných materiálov nezriedka disponujú až desiatimi vrstvami rôznych povlakov pre optimalizáciu vlastností [15].

2.3.4 Procesy pri rezaní

Keď sa pozrieme na proces sústruženia z fyzikálneho pohľadu, tak môžeme konštatovať, že základom celého procesu je odrezávanie triesky z povrchu telesa. Toto odrezávanie je sprostredkované britom noža, tlačným do rezu. V mieste vniku britu do materiálu sa začína koncentrovať napätie. To spôsobuje vznik pružne plastických deformácií v mieste vniku. Pri ďalšom pôsobení noža stúpne šmykové napätie do takej miery, až dosiahne medze pevnosti materiálu. V tomto momente dôjde k oddeleniu triesky od povrchu.

Vplyv rezného procesu sa prejavuje ako na trieske, tak aj na nástroji a obrobku. Pri prechode nástroja plochou dochádza k pechovaniu materiálu pod britom noža, čo vytvára povrchové napätie. Ďalším negatívnym vplyvom vychádzajúcim z procesu rezania je vytváranie tepla. Veľká väčšina tepla je odvádzaná trieskou mimo rez. Avšak aj nástroj a obrobok odvádzajú menšiu časť vytvoreného tepla v závislosti na ich teplotnej vodivosti. Dochádza pritom k zmene rozmerov obrobku, ale aj nástroja. Tiež dochádza k fázovej premene, ak je k tomu nejaký materiál náchylný (napr. titán) a k zvýšenému opotrebovaniu nástroja. Mimo iného môže dochádzať k tvorbe nárustku, prípadne k adhezívnemu opotrebovaniu čela nástroja. Avšak tieto procesy spomenieme len okrajovo, pretože nepredstavujú hlavnú náplň práce.

Všetky tieto procesy vieme účelne ovplyvniť, aby bol celý rez optimalizovaný. Táto optimalizácia je spravidla riadená reznou rýchlosťou, posunovou rýchlosťou a geometriou noža. Ďalším významným vplyvom je vlastný materiál obrobku. Preto pri práci na sústruhu volíme rezné podmienky čo najbližšie k ideálnym, aby bola dosiahnutá čo najlepšia kvalita obrobku [15].

2.4 Technologický postup

Sústruženie závitů začína upnutím obrobku do stroja, ak už predtým nedošlo k inej technologickej operácii na tom istom stroji. Ak predtým nebol upnutý závitový nôž, tak sa umiestni do nožovej hlavy a dotiahne sa v závislosti na prevedení. Obsluha ďalej na hlavnej prevodovke nastaví odpovedajúci prevod, aby zvolená rezná rýchlosť bola čo najbližšie k ideálnej.

Po zvolení prevodu vretena nastaví obsluha prevod na posunovej prevodovke tak, aby suport vykonával pohyb funkčne závislý od otáčok vretena. Táto funkčná závislosť musí zaručiť, že za jednu otáčku vretena prejde suport jednu dĺžku rozteče rezaného závitů.

Po týchto operáciách obsluha môže nastaviť pomocný suport podľa toho, aký spôsob prísunu noža do rezu preferuje. Obyčajne sa volí radiálny alebo bočný prísun. Pri bočnom prísune sa pomocný suport vychýli o uhol polovice vrcholového uhla závitů. Následne sa potom medzi prechodmi nastavuje hĺbka rezu na pomocnom suporte.

Pred samotným spustením stroja sa obrobok v mieste budúceho závitú ofarbí a následne sa realizuje prvý beh s minimálnou hĺbkou rezu. Nôž na povrchu vytvorí stopy závitú, čím dovoľí skontrolovať správnosť zvolených parametrov, predovšetkým rezanej rozteče.

Po všetkých týchto krokoch obsluha spustí stroj a uzavrie závitovú maticu. Nôž prejde obrobenu plochou a vojde do výbehu závitú. Vo všeobecnosti sa dĺžka výbehu závitú berie ako 2 – 3-násobok rozteče závitú. Vo výbehu závitú musí obsluhujúci personál vytiahnuť nôž do dostatočnej vzdialenosti od obrobku, aby nedošlo ku kolízii. Následne musí byť zastavený celý stroj a zmysel otáčania vretena sa musí otočiť. Potom suport reverzuje do počiatočnej polohy a celý proces sa opakuje. Tento proces sa opakuje až po finálne vytvorenie celého závitú.

V niektorých prípadoch nie je potrebné reverzovať celý stroj, ale stačí rozpojiť závitovú maticu a zreverzovať ručne. To je možné v prípade, že rozteč rezaného závitú je celočíselným násobkom rozteče pohybového šróbu. To platí pre závitú so stúpaním: 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 6 mm.

Rovnako je možné uľahčenie v podobe rozpojenia matice, ak je stroj vybavený závitovými hodinkami. Jediné obmedzenie spočíva v tom zapojiť naspäť maticu na tej istej polohe číselníka hodín ako bola predtým rozpojená.

Po realizovaní celého rezného procesu je nutné odihlenie obrobku pilníkom, prípadne drôtenou kefou. Týmto sa zbavíme otrepu na vrchole závitú a zaručíme ľahšiu ďalšiu montáž. Po tomto kroku sa závit kontroluje, ako bolo opísané v predošlých kapitolách [13].



Obr. 2-11 Schéma procesu sústruženia

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CIEĽ PRÁCE

3.1 Analýza problému

Vychádzajúc z rešeršnej časti práce, ktorú predstavuje prehľad súčasného stavu poznania, sme si stanovili základné požiadavky kladené na závit, aby spĺňal svoju funkciu v konštrukčnom celku. Medzi tieto požiadavky patrí zabezpečenie správneho stúpania, priemeru, tolerancie profilu a drsnosti. Pri výrobe musí byť kladený dôraz na to, aby došlo k vytvoreniu vyhovujúceho výrobku, ktorý toto všetko spĺňa.

Okrem súvislostí spojených so závitom ako takým sme boli konfrontovaný s procesom sústruženia a jeho úskaliami. Hlavným úskalím je predovšetkým koordinácia pohybov obsluhy pri výbehu noža zo závitú. Pri výbehu noža z rezu je nutné, aby obsluha manuálne odsunula nôž od obrobku, zastavila stroj a zreverzovala jeho chod. Toto musí byť realizované po dobu kým sa nôž nachádza vo výbehu závitú. Dĺžka výbehu predstavuje obvykle 2- až 3násobok stúpania závitú. Z kinematiky stroja teda vyplýva, že obsluha má čas na všetky tieto úkony len po dobu 2-3 otáčok vretena. Preto otáčky vretena musia byť nižšie ako optimálne. Odhliadnuc od všetkého, treba počítať s tým, že je táto činnosť vykonaná niekoľkokrát.

Od prípravku si sľubujeme vyriešenie problému so synchronizáciou ovládania stroja v momente vybehnutia noža z rezu. Okrem toho by bolo dobré zapojením prípravku do výroby zvýšiť reznú rýchlosť a tomu pri konštrukcii uspošobiť vhodný rezný materiál. Týmto krokom by malo dôjsť k zvýšeniu produktivity a zníženiu jednotkového času na výrobu. Pre dosiahnutie tohto cieľa, je potrebné, aby vedľajšie časy pri montáži a demontáži nepresiahli čas potrebný pre montáž bežného sústružníckeho noža. Preto vyžadujeme konštrukciu s jednoduchou montážou na stroj bez nutnosti väčšieho zásahu do samotnej konštrukcie stroja.

3.2 Cieľ práce

Cieľom tejto bakalárskej práce je navrhnúť konštrukciu poloautomatického prípravku pre sústruženie závitov na konvenčnom hrotovom sústruhu. Prípravok musí byť jednoduchý na montáž a obsluhu. Musí obsluhu odbremeniť od ručného vysúvania noža z rezu. Prípravok by mal ďalej umožňovať použitie vyšších rezných rýchlostí.

Dielčie ciele:

- Návrh 3 rôznych koncepčných riešení
- Výber jedného konkrétneho koncepčného riešenia

- Kontrola bezpečnosti použitého sústružníckeho noža
- Výpočet tuhosti vratnej pružiny
- Návrh jednotlivých konštrukčných uzlov
- Návrh ostatných komponentov

Ďalšie ciele, ktoré je potrebné s prípravkom dosiahnuť:

- Jednoduchá konštrukcia prípravku pre optimalizáciu výrobných nákladov
- Vysoká spoľahlivosť na zaručenie bezproblémového pracovného života nástroja
- Schopnosť rezať závity v rozmedzí stúpania (0,8 až 5) mm, čo pokryje priemery bežných závitov s hrubou roztečou od (5 do 48) mm
- Schopnosť radiálneho a bočného prísunu do rezu, pretože sa jedná o bežné spôsoby prísunu na konvenčných strojoch
- Maximálne vyloženie noža v prípravku do 45 mm, aby sa predišlo prílišnému namáhaniu nástroja v mieste montáže v nožovej hlave

4 KONCEPČNÉ RIEŠENIA

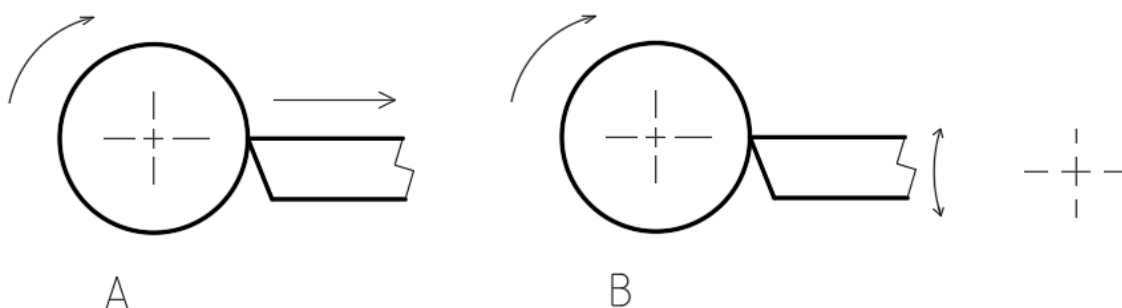
V tejto kapitole je pojednané o konštrukčných skupinách, ktoré sú spoločné pre všetky varianty konštrukcie prípravku. Ďalej sú uvedené samotné konštrukčné riešenia daného mechanizmu. Tieto varianty riešenia musia byť rozobrané z pohľadu funkčnosti, spoľahlivosti a ergonómie.

4.1 Spoločné konštrukčné skupiny

Spoločné konštrukčné skupiny sú rozobrané zvlášť z dôvodu zjednodušenia konštrukcie. Všetky konštrukčné riešenia teda budú obsahovať isté spoločné prvky. Toto zjednotenie konštrukcie nám dovoľí neskôr porovnať jednotlivé koncepcie navrhnutého prípravku a následne napomôže výberu najlepšieho pre samotnú realizáciu.

4.1.1 Základný mechanizmus

Základnou funkciou prípravku je automatické vysunutie nástroja z rezu, ktoré je z praktického hľadiska možné iba transláciou noža od obrobku (vid'. Obr. 4-1a) alebo rotáciou tela noža okolo osi rovnobežnej s osou rotácie (vid'. Obr. 4-1b). Ostatné spôsoby vysunutia, ako je napríklad rotácia noža okolo osi mimobežnej s osou rotácie, sú nezmyselné, a preto sa nimi nebudeme zaoberať.



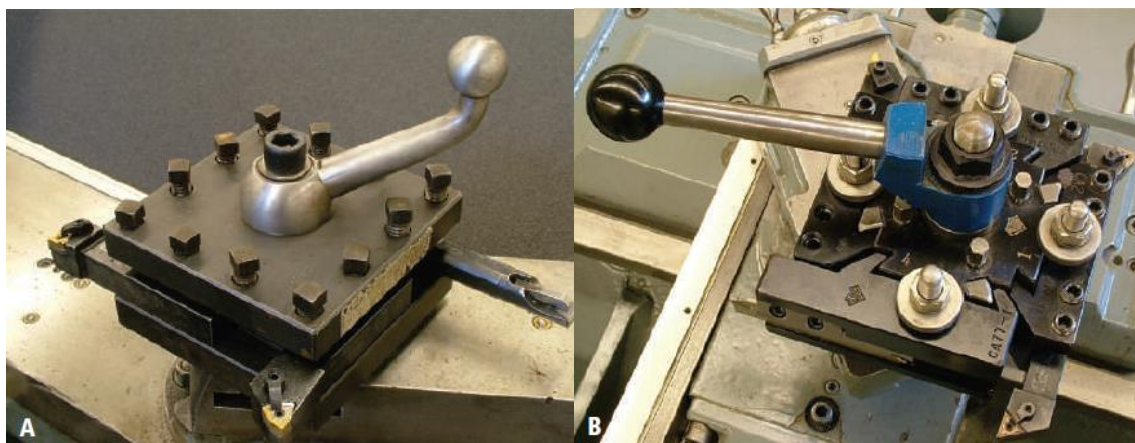
Obr. 4-1 Vysunutie noža z rezu (a) transláciou (b) rotáciou

Pri vysúvaní noža z rezu pomocou rotácie v opačnom zmysle ako je rotácia obrobku by bolo treba navrhnuť aretačný mechanizmus schopný uniesť reznú silu. Keďže veľkosť tejto sily je signifikantná, je konštrukcia prípravku fungujúceho na tomto princípe pomerne zložitá. Ďalej je treba vziať do úvahy požiadavky na presnosť a bezporuchovosť. Opačný prípad, kedy rotácia noža je v rovnakom zmysle ako rotácia obrobku, eliminuje predošlý problém. Avšak pri nesprávne zvolenej osi rotácie môže dôjsť k nabúraníu tela noža do obrobku, a tým k jeho poškodeniu.

Z vyššie uvedených dôvodov sme sa rozhodli pre využitie translačného pohybu. Translačný pohyb použitý na vysunutie noža z rezu je výhodný predovšetkým kvôli jednoduchosti aretačného mechanizmu, ktorý musí zachytávať iba pasívne účinky zo zložiek rezných síl. Ostatné zložky rezných síl sú zachytávané stenami vedenia noža.

4.1.2 Upínanie na stroj

V bežnej technickej praxi sa na konvenčných hrotových sústruhoch používajú na upnutie nástroja štvorpolohové nožové hlavy (viď. Obr. 4-2a), prípadne rýchlopínacie nožové hlavy (QCTP - quick change tool post) (viď. Obr. 4-2b). V rámci univerzálnosti je nutné na prípravku vytvoriť technologické prvky, aby ho bolo možné upnúť nezávisle na spôsobe upínania nástrojov na sústruhu.



Obr. 4-2 Upínanie nástrojov (a) štvorpolohová nástrojová hlava (b) rýchlopínacia hlava [10]

Aj keď z pohľadu zadania práce nie je upínací mechanizmus prípravku úplne podstatný, opak je pravdou. S pomocou upínania nezaistujeme iba pevné upnutie nástroja, ale aj jeho polohu voči obrobku. Toto ustavenie sa realizuje u štvorpolohových hláv jednoduchým vypoďložením nástroja podložkami o príslušnej hrúbke. Naopak pri QCTP je výškové nastavenie umožnené stavacím šróbom.

Oba spôsoby upnutia sú využívané v hojnej miere, preto je nutné konštruovať a dimenzovať prípravok tak, aby bol upínateľný pri oboch variantoch. Z tohto dôvodu volíme jednoduchý výstupok v tvare hranola na tele prípravku, aby bola montáž na stroj rovnaká, ako montáž obyčajného sústružnického noža. To znamená, že sa prípravok vypoďloží do príslušnej výšky a pomocou skrutiek na hlave sa napevno dotiahne. Ten istý postup platí aj pri QCTP s tým rozdielom, že k upnutiu pomocou skrutiek dôjde už v upínke a až tento komplet sa vloží do rybinového vedenia a excentrom sa dotiahne.

4.1.3 Vypínanie aretácie noža

Na vypínanie aretácie noža treba poskytnúť prípravku impulz, ktorý zapríčiní v správnom momente vysunutie noža z rezu. Na túto funkciu bez problémov stačí jednoduché tiahlo so záchytným mechanizmom zaisťujúcim jeho pevné spojenie so základňou stroja. Daný záchytný mechanizmus musí poskytovať oporu a ustavenie tiahla na správnom mieste, aby dochádzalo k správne vypínaniu aretácie.

Montáž záchytného mechanizmu je pomerne neistou záležitosťou, pretože závisí od konkrétneho sústruhu. Záleží predovšetkým na tom, či je stroj vybavený nejakým miestom na vreteníku vhodným na montáž príslušenstva. V prípade že nie, je tu ešte možnosť použitia magnetického upínača. V tomto prípade je však prenos sily takýmto spôsobom upnutia limitovaný vlastnosťami magnetu.

Ak však existuje možnosť mechanickej montáže záchyty na vreteník sústruhu, je výhodné to využiť. V takomto prípade je potom prenos sily limitovaný iba spôsobom samotného uchytenia.

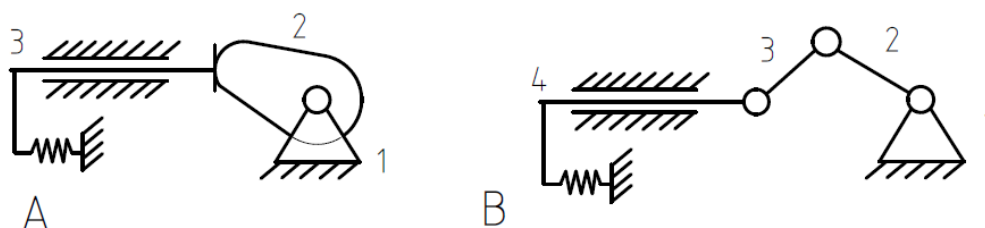
Ďalším aspektom celej podzostavy vypínania je samotná užívateľská prívetivosť. Pri sústružení závitov bude zaberat' tiahlo pracovný priestor stroja a aj pracovný priestor obsluhy. Preto je potrebné, aby navrhnutá podzostava dovoľovala samotné tiahlo zo stroja jednoducho vybrať v dobe mimo sústruženia závitov. Na vreteníku môže ostať zvyšok podzostavy, avšak nesmie obsahovať žiadne uvoľnené členy, ktoré by mohli pri ďalšej práci rezonovať a negatívne ovplyvňovať dynamiku stroja.

4.2 Varianty koncepčného riešenia

Jedným z hlavných výstupov tejto práce je návrh troch koncepčných riešení prípravku na sústruženie závitov. V tejto podkapitole sú tieto návrhy uvedené spolu s objasnením princípu a funkcie. Ako už bolo naznačené, jednotlivé konštrukcie vedenia nástroja sú si podobné, avšak líšia sa v prevedení ňahovacieho a spúšťacieho mechanizmu.

4.2.1 Variant s vačkou

Prvým variantom je riešenie založené na ťahovaní pomocou vačky, ktorá zároveň slúži aj ako aretačný prvok. Ako prvé začneme kinematickým rozborom. Na Obr. 4-3a je uvedená kinematická schéma ťahovacieho mechanizmu, ktorá interpretuje vzťahy medzi nožom (3), vačkou (2) a telom prípravku (1). Na Obr. 4-3b sa nachádza ten istý mechanizmus len s tým rozdielom, že vačka je nahradená obecnou kinematickou dvojicou. Pomocou týchto schém môžeme vypočítať počet stupňov voľnosti, čím overíme správnosť a funkčnú podstatu riešeného mechanizmu.



Obr. 4-3 Kinematická schéma mechanizmu (a) s vačkou (b) s náhradným mechanizmom

Počet stupňov voľnosti náhradného mechanizmu spočítame:

$$i = i_v(n - 1) - \left(\sum_{i=1}^n \xi_i \right) = 3(4 - 1) - (2 + 2 + 2 + 2) = 1 \text{ (}^\circ V \text{)} \quad (12)$$

i_v - počet stupňov voľnosti voľného telesa

n - počet telies, vrátane základného telesa

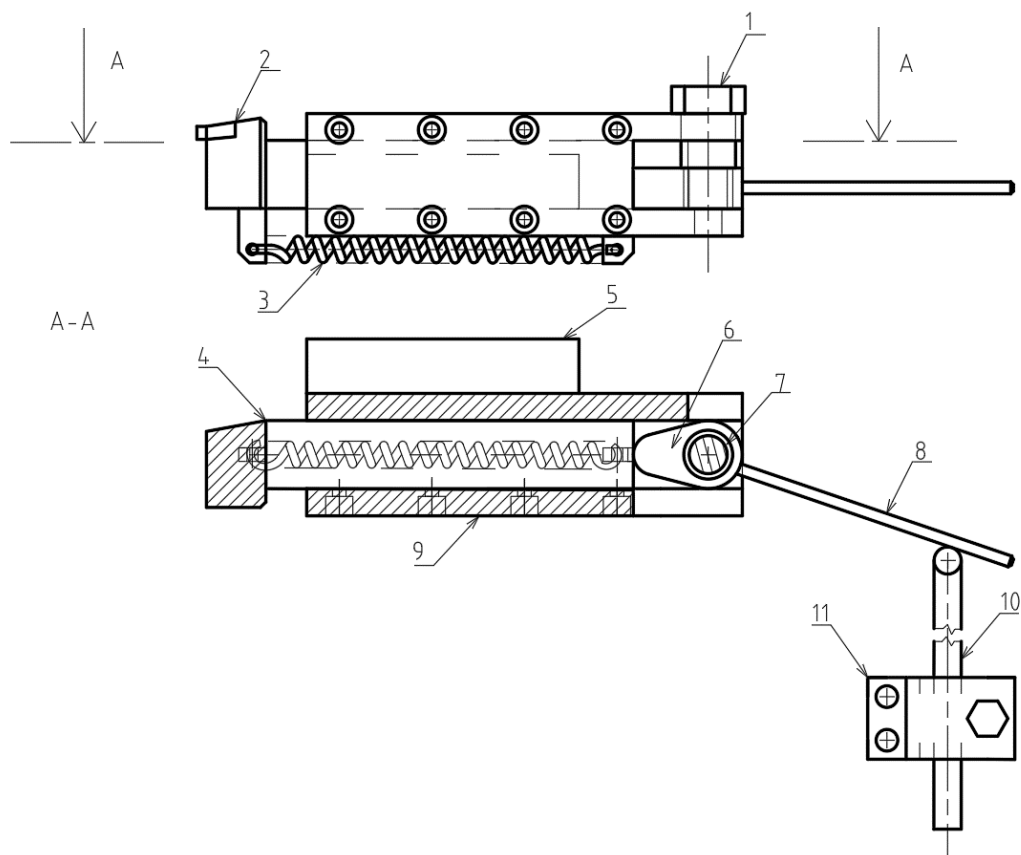
ξ - počet stupňov voľnosti odobratých jednotlivými väzbami

Z kinematického rozboru potom vychádza, že mechanizmus je schopný pohybu a vo svojej podstate je schopný vykonávať danú funkciu.

Po overení funkčnosti návrhu rozoberieme samotný mechanizmus. K tomuto účelu poslúži schematický náčrt Obr. 4-4, kde jednotlivé čísla odkazov označujú súčasti prípravku. Ako prvá súčasť je označený vodiaci čap (1), ktorý má za úlohu vykonávať rotačnú väzbu medzi telom prípravku (5) a vačkou (6). Aby sme zamedzili stratám spôsobeným trením medzi vačkou a vodiacim čapom, zakomponujeme do zostavy aj ihlové ložisko (7).

Číslom (2) sme označili brit noža umiestnený na konci tela noža (4). Telo noža je posuvne zapuzdrené v tele prípravku (5) pomocou krytu (9). Vratný pohyb tela noža a celkovo správnu funkciu celej zostavy zabezpečuje pružina (3) ukotvená zo spodnej strany prípravku.

Poslednú konštrukčnú skupinu uzatvára páka (8) namontovaná na vačke, ktorá riadi celý mechanizmus skrz tiahlo (10). Tiahlo, ako bolo už spomenuté vyššie, je uložené v záchytnom mechanizme (11). Tento záchytný mechanizmus je prišróbovaný na rám stroja v oblasti vreteníka.



Obr. 4-4 Schematický náčrt variantu prípravku s vačkou

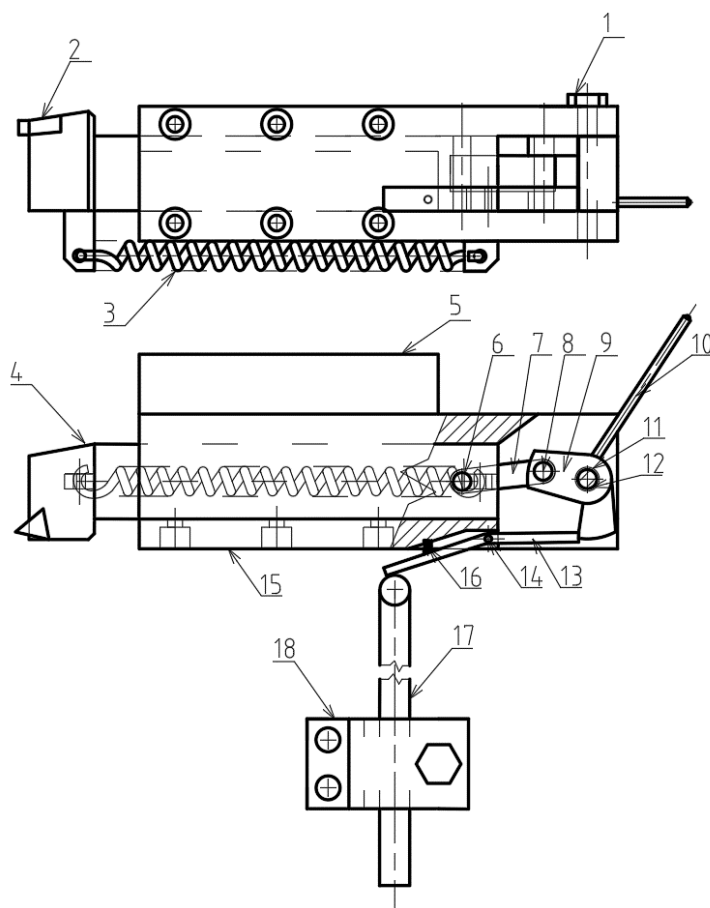
Tento variant vyniká predovšetkým svojou jednoduchosťou a konštrukčnou nenáročnosťou. Na druhú stranu, treba podotknúť, že nastavenie správneho momentu vysunutia noža nemusí byť úplne triviálne. Pre tento prípad je potrebné prípravok najprv vyskúšať, skalibrovať a pozíciu páky zaznačiť na prevádzkovú polohu, kedy dôjde k vysunutiu noža. Ďalším aspektom tejto konštrukcie je nekonformný styk medzi vačkou a telom noža. V týchto miestach by malo byť s týmto fenoménom počítané a náležite podľa toho upravená voľba materiálu, prípadne upravená povrchová úprava.

4.2.2 Variant s kľukou

Ako druhý variant vyberáme prípravok, ktorého princíp je založený na kľukovom mechanizme. Jeho kinematická schéma je totožná ako na Obr. 4-3b. Totožnosť kinematickej schémy podmieňuje aj kinematický rozbor, ktorý dôjde k rovnakému výsledku ako rovnica (12).

Rovnako, ako pri prvom variante, aj v tomto prípade vysvetlíme konštrukčnú ideu na Obr. 4-5. Ako si pozorný čitateľ mohol všimnúť, tvar a umiestenie noža (4), tela prípravku (5) a vratnej pružiny (3) sú zhodné ako v predošlom prípade. Celá táto konštrukčná skupina je uzatváraná krytom (9), ktorý spolu s telom prípravku tvorí klzné vedenie noža.

Najdôležitejšou konštrukčnou skupinou je v tomto prípade samotná kľuka (9). Tá je pomocou ložísk (11) rotačne uložená na hlavnom čape (1). Kľuku spolu s nožom spája ojnica (7) skrz dva čapy (6), (8). Napínanie mechanizmu je umožnené pomocou páky (10) primontovanej na kľuku.



Obr. 4-5 Schematický náčrt variantu prípravku s kľukou

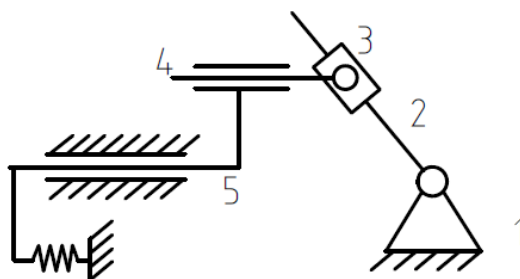
Riadenie mechanizmu vypínania je riešené pomocou jednoduchej západky (13) uloženej na čape (14). Táto západka je podopretá voči krytu pomocou pružinky (16). Táto pružinka dotláča západku do pracovnej polohy počas nat'ahovania. Zopnutie mechanizmu je riešené rovnako ako v predošlom koncepte, a to pomocou tiahla (17) a záchytného mechanizmu (18).

Čo je evidentné na prvý pohľad, je konštrukčná zložitosť voči prvému variantu. Ďalším technickým problémom je vyriešenie a nadimenzovanie malého kľukového mechanizmu s pomerne veľkým zdvihom tak, aby sa zmestil do kompaktnej konštrukcie celého prípravku. Spolu s tým treba počítať aj s vôľami v kľukovom mechanizme, čo môže negatívne ovplyvniť kvalitu obrobeného závitu.

Na druhú stranu sa takouto konštrukciou vyhýbame problémom s priamym stykom pri odvaľovaní vačky. To môže pozitívne vplyvať na celkovú životnosť prípravku. Ďalším pozitívom je potreba nižšej sily na vypnutie prípravku a vysunutie noža z rezu. Týmto sa vyhýbame problémom pri umiestnení záchytného mechanizmu na vretenník stroja.

4.2.3 Variant s prepákováním

Ako posledný variant vyberáme prípravok postavený na princípe jednoduchého prepákovania. Jednoduchá kinematická schéma sústavy sa nachádza na Obr. 4-6.



Obr. 4-6 Kinematická schéma sústavy s prepákováním

Pre výpočet stupňov voľnosti použijeme opäť rovnicu (12), z ktorej vyjde:

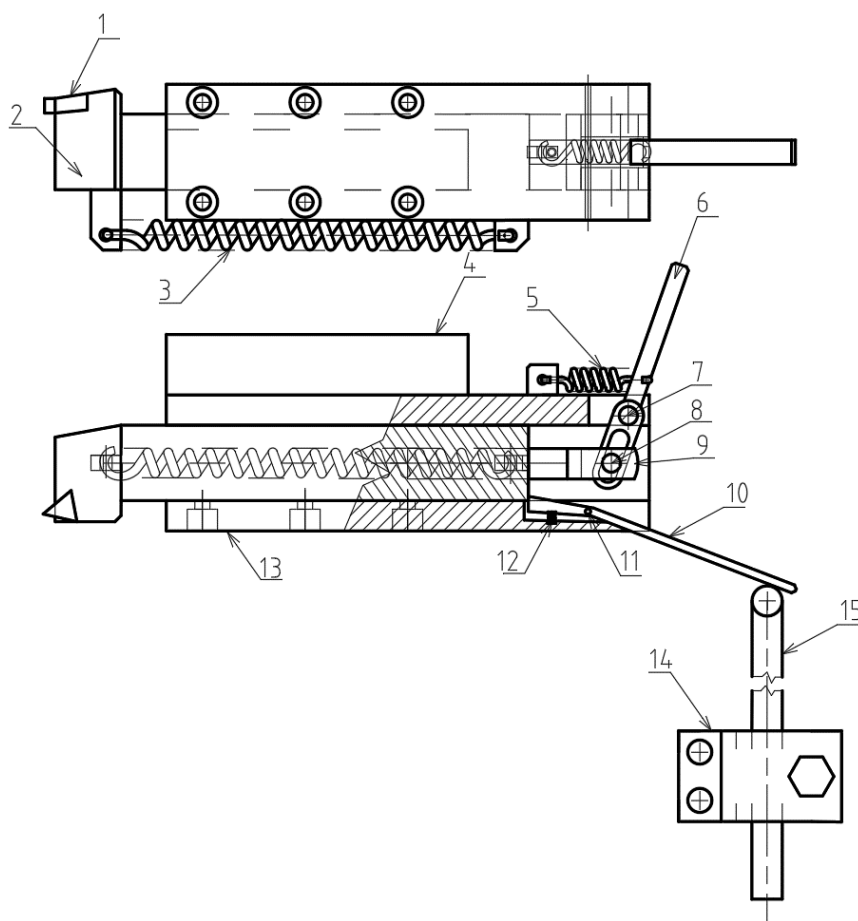
$$3(5 - 1) - (2 + 2 + 2 + 2 + 2) = 2 (^{\circ}V) \quad (13)$$

Z tohoto výpočtu vyplýva, že sústavu je možné uviesť do pohybu s 2 stupňami voľnosti, a tým ju môžeme prehlásiť za diferenciál. Z Obr. 4-6 je evidentné, kde sa teleso 5 môže pohybovať nezávisle na telese 2. Túto situáciu musíme vyriešiť vhodnou úpravou konštrukcie.

Na vysvetlenie princípu funkcie si opäť pomôžeme náčrtom na Obr. 4-7. Ako aj pri predošlých koncepciách, riešenie noža (2) spojeného s britom (1) je podobné. Tento nôž je uložený v tele (4) a napínaný pomocou pružiny (3). Vedenie noža je zakryté krytom vedenia (13).

Ďalšou konštrukčnou skupinou je zariadenie na vysúvanie noža. Toto zariadenie je tvorené lízatkom (9) spojeným s pákou pomocou čapu (8) a tvorí tak šúpadlo. Toto šúpadlo je vedené pákou (6) uloženou na čape (7). Aby sa vracala páka naspäť, je potrebné ju spriahnuť s pružinou. Táto pružina zabráni samovoľnému pohybu páky počas nečinnosti a tým odstraňuje predošlý problém s dvoma stupňami voľnosti.

Poslednou konštrukčnou skupinou je vypínací mechanizmus. Ten je založený na jednoduchej západke (10), ktorá sa otáča okolo čapu (11) a je vytláčaná pružinkou (12). Zbytok konštrukcie vypínania, to jest tiahlo (15) a záchytný mechanizmus (14), je totožný ako v predošlých dvoch prípadoch.



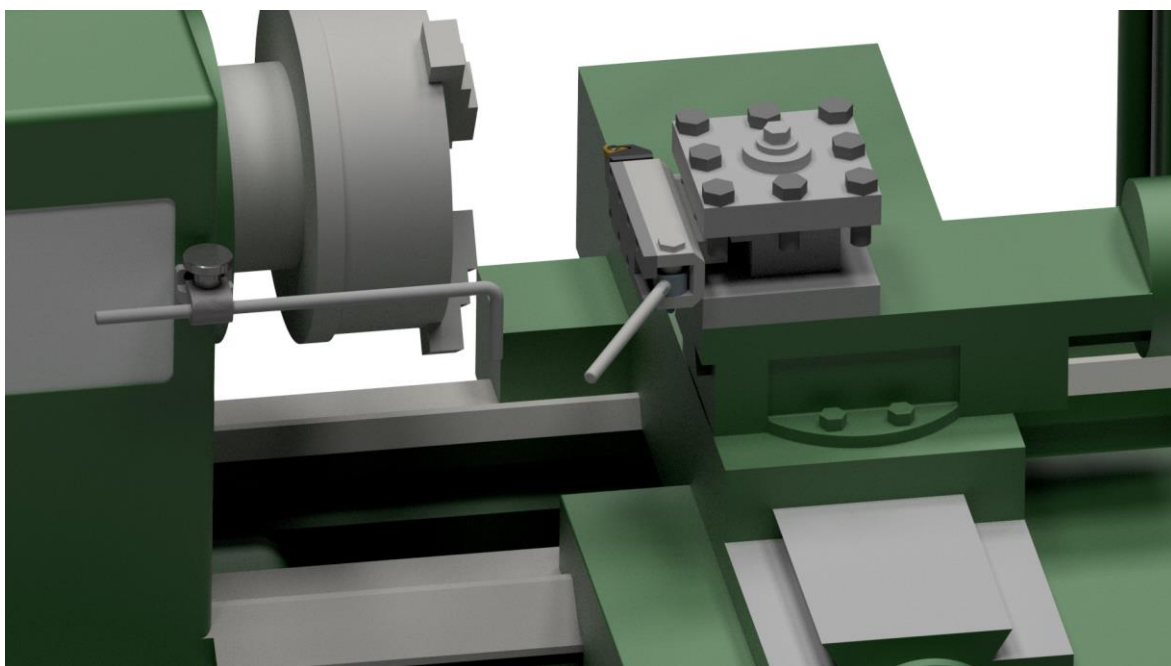
Obr. 4-7 Schematický náčrt variantu prípravku s prepákováním

Tento variant navrhovaného prípravku poskytuje jednoduché ustavenie do pracovnej pozície vďaka jednoduchému systému západky, ktorá by mohla byť implementovaná aj na iné varianty s podobnou konštrukciou. Ďalšou výhodou by mohla byť jednoduchá konštrukcia, ktorá neobsahuje príliš veľké množstvo komponentov.

Ako nevýhoda sa na prvý pohľad javí lízatko, ktoré je potrebné správne nadimenzovať, aby nedošlo k jeho ohnutiu a tým k znehodnoteniu prípravku. Následne je potrebné správne napočítať dĺžku vedenia šúpadla, aby pri zasunutí noža nedošlo k nárazu do vypínacieho systému, ale do tela noža. Ďalšou nevýhodou je nutnosť vypnúť posuv hneď ako dôjde k vysunutiu noža z rezu. Tým zabránime ohnutiu západky.

5 KONSTRUKČNÉ RIEŠENIE

Medzi hlavné ciele vytýčené v predošlých kapitolách patrí výber najlepšieho variantu konštrukcie. Predovšetkým je potrebné prihliadnuť na všetky vyššie zmienené klady a zápory konštrukčných riešení uvedené na záver každej podkapitoly. Po dôslednej úvahe nad všetkými návrhmi, predstavuje variant s vačkou najjednoduchšiu a najbezpečnejšiu alternatívu z funkčného hľadiska. To znamená, že vyberáme variant č.1. ovládaný vačkou. Absencia západkového mechanizmu noža znižuje počet komponent, čím znižuje konštrukčnú a výpočtovú náročnosť. Túto funkciu preberá vačka. Jediným obmedzením návrhu je, aby bol koniec noža v neustálom kontakte s bokom vačky. Toto je žiadúce, aby nedochádzalo k nárazom pri zasúvaní noža a pritom, aby bola poloha vačky po celý čas ustavená. Samotnému návrhu a konštrukcii je venovaná samostatná podkapitola. Ostatné komponenty sú pre všetky ostatné návrhy zakaždým obdobné a aj ony sú rozobraté v rámci príslušných podkapitol.



Obr. 5-1 Ilustrácia vybraného koncepčného riešenia implementovaná na sústruhu.

5.1 Vstupné parametre

Základom každej konštrukcie sú vstupné parametre, ktoré definujú hraničnú oblasť použitia bez nebezpečia dosiahnutia medzného stavu. Ako sme zmienili v kapitole 2.3.2 Dynamika rezu, analytický výpočet zložiek rezných síl nie je vo všeobecnosti triviálny a závisí na veľa premenných. Aj napriek istému fundovanému odhadu nie sme schopní zo známych údajov vypočítať rezné sily dostatočne presne. Ak by sme využili výpočet, výsledok by bol natoľko nepresný, že by nebolo možné považovať postup za korektný. Preto s výhodou využijeme hodnoty rezných síl nameraných na dynamometri [17], zmerané pre jednoduchý sústružnický nôž s VBD. Podmienky, ktoré boli použité pri meraní, určíme ako horné maximum. Tým pádom dostávame maximálne sily, pre ktoré budeme dimenzovať ako nôž, tak aj celý prípravok (viď Tab. 5-1).

Tab. 5-1 Vstupné parametre a sily odmerané pomocou dynamometra [17]

Priemer ϕ (mm)	Stúpanie Ph (mm)	Počet prechodov	Hĺbka rezu Ap (mm)	F_c (N)	F_f (N)	F_p (N)	Materiál
176	5	6	0,3	1977	861	63	AISI 1045 / C45

Použitím vzorca na výpočet reznej rýchlosti, dostaneme požadované otáčky vretena. Keď poznáme frekvenciu, vieme aj jednoducho zistiť periódu otáčania (t.j. dobu trvania jednej otáčky). Spolu s veľkosťou rozteče rezaného závitú dostaneme jednoducho posunovú rýchlosť.

$$v_f = \frac{v_c 1000}{60\pi\Phi D} 2P_h = 0,0452 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (14)$$

Na výpočet sily potrebnej na zasunutie noža do tela prípravku je však potrebné vypočítať zrýchlenie. Toto zrýchlenie dostaneme z jednoduchej kinematiky rovnomerne zrýchleného pohybu. Pretože máme priveľa neznámych, sme nútení zvoliť si jeden z parametrov. V našom prípade to bude dĺžka na akej bude musieť nôž vybehnúť z rezu, inak povedané musíme si zvoliť dĺžku výbehu. V našom prípade si volíme $Ph/2$. Akonáhle dostaneme čas potrebný na kompletný výbeh z rezu, zistíme zrýchlenie. Toto zrýchlenie musí pôsobiť po dráhe vysunutia noža z rezu noža S .

$$t = \frac{\frac{Ph}{2}}{v_f} = 0,0553 \text{ (s)} \quad (15)$$

$$a = \frac{2S}{t^2} = 9,8129 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-2}) \quad (16)$$

Keďže celý prípravok modelujeme ako sústavu, musíme aj dynamiku počítať voči celej sústave. Na túto úlohu použijeme metódu redukcie sústavy na jedno teleso. Týmto postupom dostaneme m_{RED} , ktoré jednoducho implementujeme do pohybovej rovnice. Táto metóda výpočtu je podmienená zanedbaním nekonzervatívnych síl. Z tohto dôvodu budeme navrhovať vratnú pružinu, ktorá bude poskytovať vratnú silu F_A , s istou rezervou.

$$F_A = m_{RED}a = 36,8863 \text{ (N)} \quad (17)$$

5.2 Výber a kontrola vratnej pružiny

Pružina v našom prípravku predstavuje kľúčový komponent, ktorý poskytuje hnaciu silu potrebnú na vysunutie noža z rezu. Jej návrh je spätý predovšetkým so silou F_A vypočítanou v kapitole 5.1. Ako už bolo zmienené, vo výpočte bola zanedbaná trecia sila. Kompenzácia tohto zjednodušenia bude musieť byť náležite zahrnutá do vlastného výpočtu pružiny.

Je účelné, aby navrhnutá pružina bola vybraná z katalógu bežne vyrábaných a bežne dostupných materiálov. A to z dôvodu obstarávacej ceny, ale aj nahraditeľnosti v prípade poškodenia. Mimo iného to zjednoduší výpočet tým, že množstvo vstupných parametrov bude dopredu dané.

Po niekoľkých iteráciách výpočtu sme sa dopracovali k pružine, ktorej údaje sú v Tab. 5-2. Bolo treba previesť iteračný výpočet, kvôli kompaktnosti, aby pružina nekontaktovala s telom prípravku a ešte aby dosahovala predpísané predĺženie bez dosiahnutia medzného stavu. Pre bližší náhľad do výpočtu je vhodné prejsť výpočtový protokol v prílohách.

Tab. 5-2 Vstupné údaje výpočtu pružiny [18]

Priemer D (mm)	Priemer drôtu d (mm)	Dĺžka vo voľnom stave L_0 (mm)	Tuhosť pružiny k (Nmm ⁻¹)	Predpätie F_i (N)	Materiál
10,2	1,8	87,2	2,10	17,04	EN 10270-3-SH (1.4310)

Vybraná pružina bola kontrolovaná voči medznému stavu pružnosti, medznému stavu únavy, ale aj s prihliadnutím na predtým vypočítanú hodnotu sily F_A s návrhovým súčiniteľom $k_N = 2,7$. Veľkosť sily F_A je lineárne závislá na natiahnutí pružiny, pričom extrémne hodnoty dosahuje v krajných bodoch trajektórie noža. Tieto hodnoty sme označili F_h a F_n , aby sme dodržali názvoslovie únavového namáhania. Hodnoty L_{max} a L_{min} predstavujú natiahnutie celej pružiny v danom okamihu.

$$F_h = k(L_{max} - L_0) + F_i = 98,52 \text{ (N)} \quad (18)$$

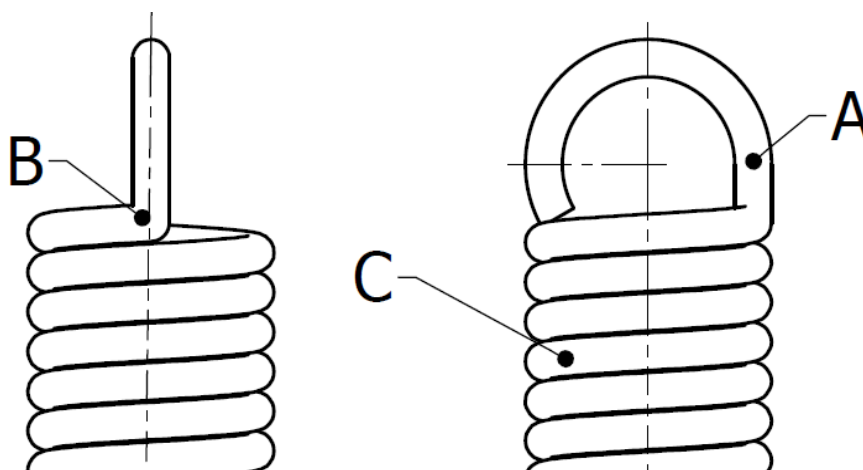
$$F_n = k(L_{min} - L_0) + F_i = 66,39 \text{ (N)} \quad (19)$$

Sila F_h v našom výpočte predstavuje silu akou pružina pôsobí na konci rezu v momente výbehu. Túto silu porovnávame so silou F_A vypočítanou v predošlej kapitole.

$$F_A k_N = 36,89 \cdot 2,7 = 99,6 \text{ (N)} \approx F_h \quad (20)$$

Týmto sme overili prvý predpoklad, a tým je, že pružina bude schopná vyvinúť dostatočnú silu na vysunutie noža z rezu.

Aby sme mohli uskutočniť kontrolu voči medznému stavu pružnosti a medznému stavu únavy, je v prvom rade potrebné stanoviť nebezpečné miesta, v ktorom bude pravdepodobnosť porušenia najvyššia. V prípade ťažných pružín sú tieto miesta tri (Obr. 5-2). Prvým je ohyb oka pružiny, ktoré je namáhané dominantne na ťah a ohyb. Toto miesto budeme ďalej v texte značiť *A*. Ďalším miestom je prechod závesného oka do tela pružiny, pričom toto miesto označíme ako *B*. Posledným, no nemenej dôležitým miestom je samotné telo pružiny, ktoré označíme *C*. Pre všetky tieto nebezpečné miesta je nutné vykonať kontrolu voči vyššie vymedzeným medzným stavom.



Obr. 5-2 Ukážka nebezpečných miest na použitej ťažnej pružine

Aby sme však mali ako určiť či je dosiahnuté napätie na bezpečnej strane alebo nie, je potrebné zaviesť parameter, voči ktorému budeme dosiahnuté napätie porovnávať. Pri pružinách je tento parameter odvodený od medze pevnosti daného materiálu a závisí na druhu a mieste zaťažovania.

Tab. 5-3 Dovoľené napätie v pružine v percentách R_m [2]

Materiál	Krut – telo pružiny	Krut – konce pružiny	Ohyb – konce pružiny
Korozivzdorná oceľ	35	30	55

Pre našu vybranú pružinu platí vzťah (21) [2], ktorý zohľadňuje nielen materiál, ale aj priemer drôtu z akého je vyrobená. Pre našu pružinovú oceľ triedy SH platí:

$$R_m \approx 2330 - 900 \log(d) = 2100,25 \text{ (MPa)} \quad (21)$$

5.2.1 Kontrola bodu A

Pri výpočte napätia v bode A je potrebné zohľadňovať mimo iného, predovšetkým zakrivenie závesného oka. To učiníme použitím súčiniteľa K_l [2]:

$$C_1 = \frac{2r_1}{d} = \frac{D}{d} = 5,6667 \quad (22)$$

$$K_1 = \frac{4C_1^2 - C_1 - 1}{4C_1(C_1 - 1)} = 1,1513 \quad (23)$$

Potom maximálne napätie v mieste A bude:

$$\sigma_A = F_h \left(K_1 \frac{16D}{\pi d^3} + \frac{4}{\pi d^2} \right) = 1049,02 \text{ (MPa)} \quad (24)$$

Porovnaním vypočítaného maximálneho napätia v mieste A s maximálnou dovolenou hodnotou dostaneme súčiniteľ bezpečnosti voči medznému stavu pružnosti k_{KA} :

$$k_{KA} = \frac{0,55R_m}{\sigma_A} = 1,101 \quad (25)$$

Miesto A je však zaťažované aj cyklicky, konkrétne pulzujúco v ťahu. Pre výpočet únavovej bezpečnosti však potrebujeme strednú hodnotu a amplitúdu napätia. Tieto hodnoty dostaneme dosadením strednej hodnoty a amplitúdy sily do rovnice (24). Pre tieto sily platia vzťahy:

$$F_m = \frac{F_h + F_m}{2} = 82,45 \text{ (N)} \quad (26)$$

$$F_a = \frac{F_h - F_m}{2} = 16,06 \text{ (N)} \quad (27)$$

Pre výpočet bezpečnosti voči medznému stavu únavy nakoniec použijeme vzťah [2]:

$$k_{úA} = \frac{1}{2} \left(\frac{R_m}{\sigma_m} \right)^2 \frac{\sigma_a}{\sigma_c} \left(-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2\sigma_m\sigma_c}{R_m\sigma_a} \right)^2} \right) = 1,69 \quad (28)$$

Bezpečnosť voči danému zaťaženiu v bode A je väčšia ako jeden. Potom môžeme tvrdiť, že k žiadnemu z daných medzných stavov nedôjde.

5.2.2 Kontrola bodu B

V bode B pôsobí dominantne šmykové napätie od zaťažujúcej sily. Preto výpočet v tomto mieste musí byť rozdielny. Treba tiež prihliadnuť na zvýšenú koncentráciu napätia spôsobenú zakrivením drôtu, ktoré je vyjadrené rádiusom R . Tento rádius predstavuje najmenšie zakrivenie v mieste prechodu z oka do tela pružiny. To sa prejaví použitím súčiniteľa K_2 [2].

$$C_2 = \frac{2R}{D} = 4,44 \quad (29)$$

$$K_2 = \frac{4C_2 - 1}{4C_2 - 4} = 1,22 \quad (30)$$

Potom šmykové napätie spočítame ako:

$$\tau_B = K_2 \frac{8F_h D}{\pi d^3} = 534,32 \text{ (MPa)} \quad (31)$$

Opäť porovnáme vypočítané šmykové napätie s maximálnym dovoleným napätím a dostaneme bezpečnosť voči medznému stavu pružnosti.

$$k_{KB} = \frac{0,3R_m}{\tau_B} = 1,18 \quad (32)$$

Rovnako, ako pôsobí časovo premenná sila na miesto A , pôsobí táto sila aj na miesto B , a preto je nutné ho kontrolovať na únavu. Opäť dosadíme do rovnice (31) amplitúdu a strednú hodnotu sily. Avšak pri samotnej kontrole využijeme postup podľa Zimmerliho [2], kde dostaneme mez únavovej pevnosti v krute τ_c . Rovnako využijeme zjednodušenie, kedy vezmeme za mez pevnosti v šmyku $0,67R_m$ [2]. Potom vychádza bezpečnosť voči medznému stavu únavy v bode B [2]:

$$k_{úB} = \frac{1}{2} \left(\frac{R_{sm}}{\tau_{mB}} \right)^2 \frac{\tau_{aB}}{\tau_c} \left(-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2\tau_{mB}\tau_c}{R_{sm}\tau_{aB}} \right)^2} \right) = 1,90 \quad (33)$$

5.2.3 Kontrola bodu C

V zásade je postup kontroly zhodný ako pri bode B , s jediným rozdielom, a to v použitom súčiniteli zohľadňujúcim zakrivenie drôtu. V tomto prípade sme použili Bergsträsserov súčiniteľ K_B [22]:

$$C = \frac{D}{d} = 5,67 \quad (34)$$

$$K_B = \frac{4C + 2}{4C - 3} = 1,25 \quad (35)$$

Tento súčiniteľ sme následne dosadili do rovnice (31) a výpočet opakovali ako pri bode B.

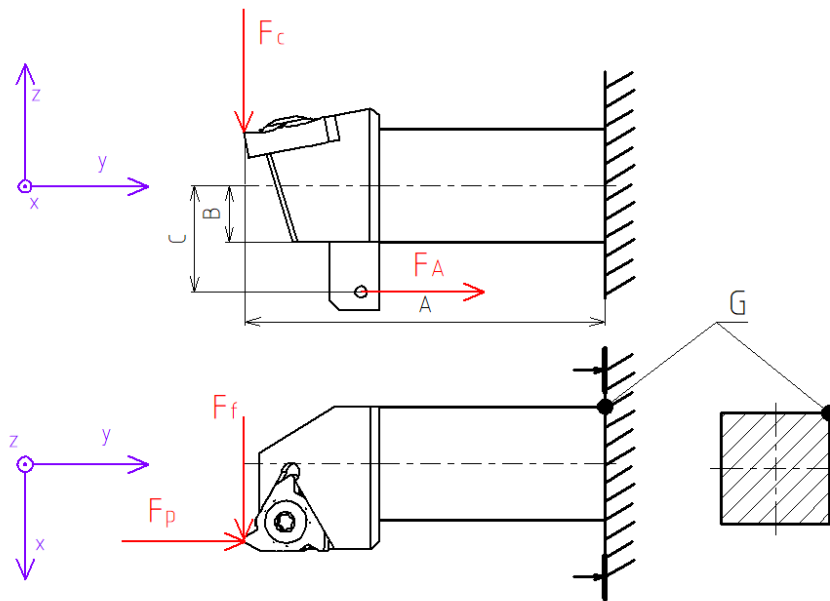
$$k_{KC} = \frac{0,35R_m}{\tau_c} = 1,34 \quad (36)$$

$$k_{úC} = \frac{1}{2} \left(\frac{R_{sm}}{\tau_{mC}} \right)^2 \frac{\tau_{aC}}{\tau_c} \left(-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2\tau_{mC}\tau_c}{R_{sm}\tau_{aC}} \right)^2} \right) = 1,84 \quad (37)$$

Bezpečnosti voči medzným stavom v každom nebezpečnom mieste pružiny vyšli nad hodnotu jedna. Zároveň túto hodnotu nijak drasticky neprekračujú, čo je známka korektného nadimenzovania. Z toho dôvodu môžeme považovať danú pružinu na správne zvolenú a funkčne prípustnú.

5.3 Kontrola noža

Kľúčovým komponentom celej zostavy je nôž. Tak ako pri jeho konvenčnom použití, aj v tomto prípade bude musieť prenášať všetky zložky rezných síl do prípravku a do stroja. Pre toto zaťaženie je nutné dimenzovať prierez noža tak, aby nemohlo dôjsť k dosiahnutiu medzného stavu pružnosti. Hodnoty z Tab. 5-1 boli namerané pre sústružnícky nôž s montovanou VBD s geometriou na rezanie metrického závitu. Pre takto zaťažovaný nástroj je doporučený držiak VBD s prierezom (25 x 25) mm [19] a maximálnym vyložením 45 mm na Obr. 5-3 reprezentované kótou A. Tieto hodnoty použijeme ako základ pre náš pevnostný výpočet. Samotný nôž modelujeme ako jednoduchý votknutý prut. Toto zjednodušenie je korektné z dôvodu, že nebezpečné miesto sa nachádza v mieste prechodu noža do tela prípravku. Výpočet je potrebné previesť v dvoch rovinách, pretože aj samotná zaťažovacia sila je rozložená do troch smerov. Tieto roviny označíme v zhode s označením na Obr. 2-9. Pre sily F_C , F_P a F_A budeme riešenie počítat' v rovine z-y, zatiaľ čo pôsobenie sily F_f budeme počítat' v rovine z-x. Následne superpozíciou účinky síl sčítame. Nebezpečným miestom na priereze je miesto G reprezentované na Obr. 5-3.



Obr. 5-3 Silové zaťaženie noža a nebezpečný bod prierezu

Podrobný postup výpočtu je súčasťou výpočtovej správy (príloha 1), a preto sa obmedzíme na odprezentovanie výsledkov silovej analýzy. Najdominantnejším vplyvom na celý systém je ohybový moment M_{ox} od pasívnej a reznej zložky reznej sily, sily od pružiny a M_{oz} od pasívnej zložky reznej sily.

$$M_o = \sqrt{M_{ox}^2 + M_{oz}^2} = 99112,39 \text{ (N} \cdot \text{mm)} \quad (38)$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = 38,06 \text{ (MPa)} \quad (39)$$

Ďalším veľmi dominantným vplyvom je krut spôsobený excentricitou silového namáhania voči strednici prutu.

$$\tau_{Mk} = \frac{M_k}{W_k} = 9,87 \text{ (MPa)} \quad (40)$$

Vplyv posúvajúcej a normálovej sily budeme zanedbávať, pretože sme výpočtom zistili, že ich veľkosť nie je podstatná pre samotný výsledok. Aby sme dostali výpovednú hodnotu napätia, využijeme teóriu maximálnych šmykových napätí [2].

$$\sigma_{Red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 4\tau_{Mk}^2} = 42,87 \text{ (MPa)} \quad (41)$$

Telo noža však nie je zaťažované staticky, ale cyklicky. Tento zaťažovací cyklus môžeme považovať za mýjivý. Aj napriek tomu, že sila F_A pri zasunutí noža úplne nemizne, považujeme ju za nepodstatnú voči ostatným zaťažujúcim silám. Zato však konzervatívne určíme návrhový súčiniteľ $k_{\dot{u}} = 3$, ktorým zohľadníme značnú neistotu v následnom použití prípravku v praxi. Na začiatku výpočtu sme síce použili hodnoty z dynamometra, ale iba pre veľmi konkrétny prípad. Zatiaľ čo v reálnej technickej praxi sa daný prípravok môže stretnúť s oveľa horšie obrábateľným materiálom, iným priemerom obrobku alebo hrubším rozdelením hrúbky triesky medzi prechody. Všetky tieto vplyvy silno ovplyvňujú výsledné silové zaťaženie na špičku noža. Ďalším dôvodom použitia tak nadhodnoteného súčiniteľa bezpečnosti je istá koncentrácia napätia v mieste prechodu noža do prípravku.

Pre všetky výpočty v predošlej časti sme uvažovali bežne používaný sústružnícky nôž. Z tejto koncepcie sme vyšli a budeme sa jej držať aj naďalej. Jedinou neznámou potom v pevnostnom výpočte bude materiál tela. Ten zvolíme na základe výpočtu priesečníku zaťažovacej priamky s Goodmanovým kritériom. Jednoduchým odvodením potom získame vzťah pre výpočet medze pevnosti materiálu pre daný návrhový súčiniteľ $k_{\dot{u}}$:

$$R_m = k_{\dot{u}} \sigma_a \left(\frac{1}{0,504} + 1 \right) = 191,92 \text{ (MPa)} \quad (42)$$

Týmto finálnym výpočtom sme získali minimálnu medz pevnosti materiálu. Materiál predpísaný pre telo noža musí dosahovať aspoň medz pevnosti 192 MPa. Keďže materiál vyšiel s veľmi nízkou medzou pevnosti, dáva nám to veľkú voľnosť vo výbere samotného polotovaru pre výrobu. S ohľadom na túto skutočnosť je potrebné pristupovať k návrhu a konštrukcii ostatných konštrukčných skupín a komponentov celej zostavy.

Pre telo noža sme finálne vybrali konštrukčnú oceľ S235 JR (11375.0). Táto oceľ dosahuje hodnoty medze pevnosti R_m 375 MPa a R_e 235 MPa [20]. Tým spĺňa podmienku určenú v predošlom výpočte.

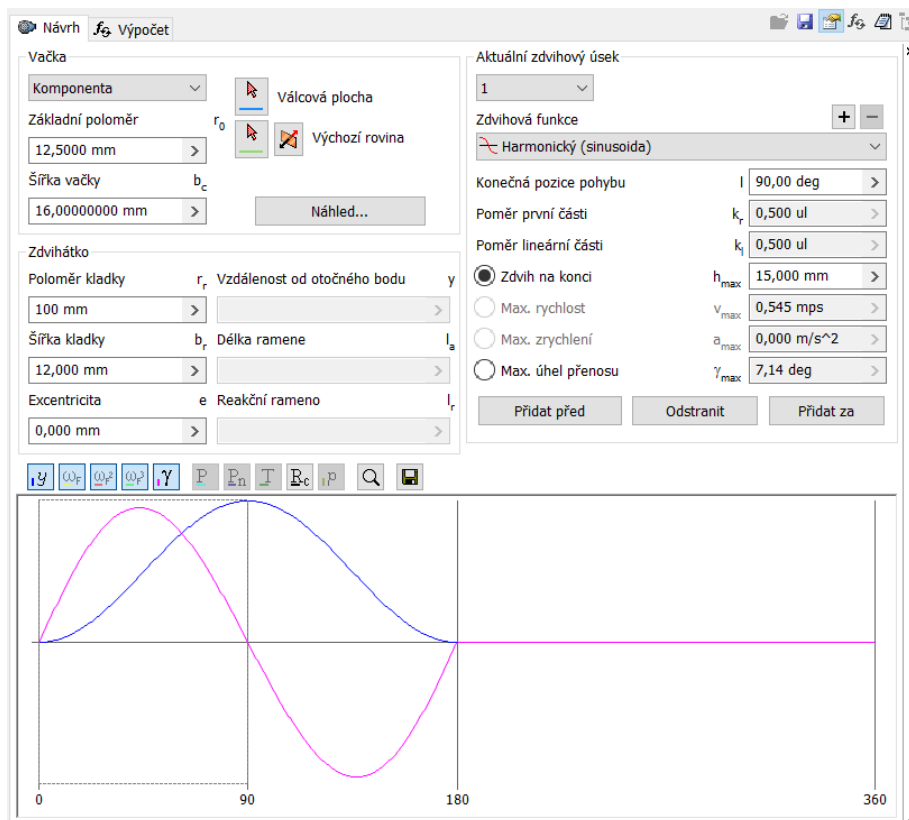
5.4 Vačka a jej uloženie

Začiatkom kapitoly bolo spomenuté, že spomedzi všetkých variantov riešenia sme vybrali práve mechanizmus s vačkou. Toto rozhodnutie sme zdôvodnili práve konštrukčnou jednoduchosťou. Okrem výhod boli spomenuté aj nevýhody nutné adresovania v rámci vlastnej konštrukcie.

Jeden konštrukčný problém je riešenie kontaktu medzi telom noža a bokom vačky. Medzi týmito dvoma povrchmi sa odohráva nekonformný čiarový styk. Vychádzajúc z Hertzovej teórie [2] bude toto miesto náchylné na opotrebenie spôsobené silovou interakciou medzi povrchmi. V prípade zlého mazania tohto miesta dôjde k zadieraniu a prílišnému opotrebovaniu oboch povrchov. Po dlhšej prevádzke v zlých mazacích podmienkach dôjde k poškodeniu, čo môže viesť k výraznému zvýšeniu potrebnej ovládacej sily. Dôsledkom toho je nutná výmena niektorých komponentov, až vyradenie celého prípravku a jeho výmena za nový.

Druhý a najväčší konštrukčný problém je zaistenie ustálenej polohy vačky v pracovnej pozícii. Tento stav je možný dosiahnuť iba správnym konštrukčným riešením dorazov na tele prípravku. Dorazmi nazveme miesta na tele prípravku, kde sa vačka zaprie a dosiahne stabilnú polohu. V tejto polohe je potrebné zaistiť samosvornosť vačky, aby sa samovoľne neuvolnila bez vonkajšieho impulzu na ovládací mechanizmus. Tento impulz musí prísť v istej polohe suportu voči obrobku. Preto, ako bolo naznačené v predošlých kapitolách telo prípravku bolo opatrené ciachami, ktoré označujú presné miesto aktivovania vypínacieho mechanizmu. Tým bude pre obsluhu uľahčené základné ustavenie a následne aj presnosť celej zostavy.

Konštrukcia vačky z kinematického hľadiska musí vykazovať harmonický charakter. To znamená, že v každej polohe je bok vačky v styku s vodičkom (v našom prípade telo noža). Pôvodne bol návrh vačky realizovaný skrz skladanie kružnicových oblúkov na seba. Tento systém je už prekonaný a v dnešnej dobe poskytuje softwarovú podporu na tomto poli rada CAD systémov. Tieto systémy danú plochu interpolujú polynómami vyšších stupňov. Tento krok zabezpečí, že rýchlosť a zrýchlenie vodička odvažujúceho sa po palci vačky je spojité, vid' Obr. 5-4. Pre využitie takejto pomôcky sme sa rozhodli aj my, a preto jedinou úlohou je navrhnúť správny materiál vačky a funkčné súčasti danej konštrukčnej skupiny.

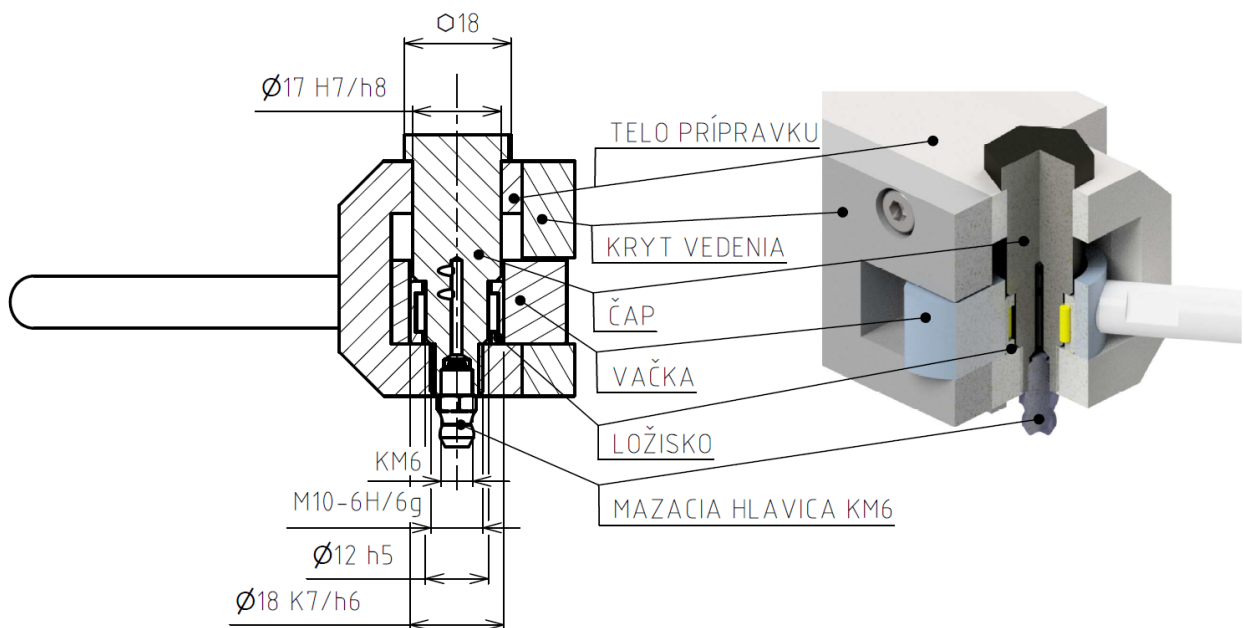


Obr. 5-4 Použitý návrh a parametre vačky

Ako základný materiál vačky volíme oceľ C45 (12050.1) v stave normalizačne žíhanom. Tento materiál vykazuje medz klzu R_e 325 MPa a medz pevnosti R_m 540 MPa. Tento materiál volíme predovšetkým kvôli svojej tvrdosti 225 HB [21]. Vyššia tvrdosť podmieňuje lepšiu odolnosť voči poškodeniu od kontaktnej únavy medzi povrchom boku vačky a tela noža.

Ďalšou možnosťou riešenia tohto kontaktného problému je priame privádzanie mazacieho média do miesta odvalu noža po vačke. Toto riešenie vyžaduje vytvorenie mazacieho kanála skrz čap, kde v jeho ústí by bola implementovaná mazacia hlavica. Tento mazací kanál by pokračoval do uloženia ložiska, kde by dopĺňal mazacie médium. Následne by sa mazivo pretlačilo popod ložisko skrz vačku cez ďalší mazací kanál až priamo do miesta odvalu. Mazivo pre tento účel volíme bežné plastické mazivo. Plastické mazivo volíme z dôvodu, že sa na funkčných povrchoch udrží dlhšie, poskytne dostatočný mazací film a ochranu pred koróziou a vonkajšími vplyvmi.

Vačka je v tele prípravku uložená na ihlovom ložisku nalisovanom v tele vačky s toleranciou 18 K7/h6. Skrz toto ložisko prechádza čap, ktorý definuje polohu osi vačky voči telu noža na tele prípravku. Tento údaj je kľúčový pre zaistenie stáleho dotyku boku vačky s telom noža. Iba tak totiž dosiahneme funkčnosť mechanizmu pri zachovaní jedného stupňa voľnosti.



Obr. 5-5 Konštrukčná skupina uloženia vačky

Ložisko, ktoré sme sa rozhodli použiť vyberáme SKF HK 1212 [22]. Pre toto ihlové ložisko nie je nutné počítať žiadne atribúty, pretože akékoľvek zaťaženie pôsobiace naň je rádovo nižšie ako medzné hodnoty zaťaženia, pre ktoré je nadimenzované. Pre príklad uvedieme statickú únosnosť ložiska. Z Tab. 5-4 odčítame hodnotu 7,32 kN, pričom reálne toto ložisko bude prenášať iba približne 200 N. Rovnako frekvencia otáčania v tejto aplikácii je hlboko pod dimenzovaným maximom ložiska. Preto je vysoká pravdepodobnosť, že dôjde najprv k zlyhaniu inej súčasti predtým, ako vypovie službu ložisko vačky. Použitie tohto typu ložiska v tejto aplikácii je tiež oprávnené z pohľadu mazania. Ihlové ložiská majú nízke nároky na mazanie a dokážu pracovať pri nepriaznivých mazacích podmienkach pomerne dlhú dobu.

Tab. 5-4 Dôležité parametre vybraného ložiska [22]

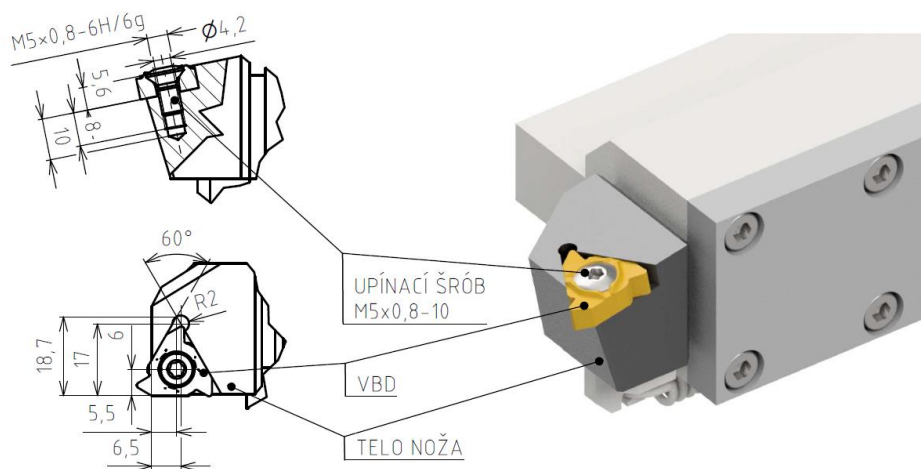
Vonkajší priemer D (mm)	Vnútorný priemer Fw (mm)	Šírka C (mm)	Statické zaťaženie C ₀ (kN)	Maximálne otáčky n _{max} (min ⁻¹)	Tolerancia čapu pod ložiskom
18	12	12	7,32	18000	h5

Poslednou súčasťou vybraného konštrukčného uzla je čap, ktorý ako bolo povedané vyššie, sprostredkuje interakciu medzi telom prípravku, vačkou a ložiskom. Na tento čap opäť predpíšeme materiál C45, kvôli dobrým mechanickým vlastnostiam, predovšetkým tvrdosti. Najdôležitejším funkčným rozmerom na našom čape je priemer pod ihlovým ložiskom. Tento rozmer musí dosahovať toleranciu 12 h5. Ostatné rozmery nespádajú do tak vysokej presnosti a nemajú tak veľkú prioritu pre správnu funkciu. Čap je umiestnený v tele prípravku pomocou uloženia 17 H7/h8 a závitú M10x1,5 g6. O ukončenie sa stará šesťhran, ktorý oddeľuje uloženie čapu a zároveň funguje ako montážny prvok pri skladaní a rozoberaní prípravku.

5.5 Brit a jeho uloženie

V kapitole 5.3 sme ako základ pevnostného výpočtu použili hodnoty namerané z dynamometra. Tieto hodnoty prislúchajú pre nôž s VBD s geometriou prislúchajúcou metrickému závitú. Táto VBD nesie označenie 266RG-22 [19]. Takáto doštička je upínaná pomocou šróbu s kužeľovou hlavou M5x0,8. V prípade potreby diverzifikácie prípravku pre viacero veľkostí VBD by bolo potrebné vyrobiť sadu nožov s rôznymi veľkosťami upínacieho vybraní. Keďže sme pri pevnostnom výpočte počítali s najväčšou doštičkou, ktorá prenáša najväčšie zaťaženie, môžeme považovať zmenšenie rozmeru použitej doštičky za korektné. Takouto úpravou konštrukcie sa nedopúšťame chyby, pretože ostávame na bezpečnej strane výpočtu.

Nie je účelné vytvárať nejaké špeciálne upevňovanie doštičky pre tento konkrétny prípad na hrot noža, a preto s výhodou využijeme komerčne používaný systém. Takéto upnutie spočíva v montáži doštičky za kužeľový otvor pomocou skrutky. Ustavenie VBD v rámci uhlového natočenia je zabezpečené pomocou presného vybraní na hrote noža, kam doštička presne zapadá.



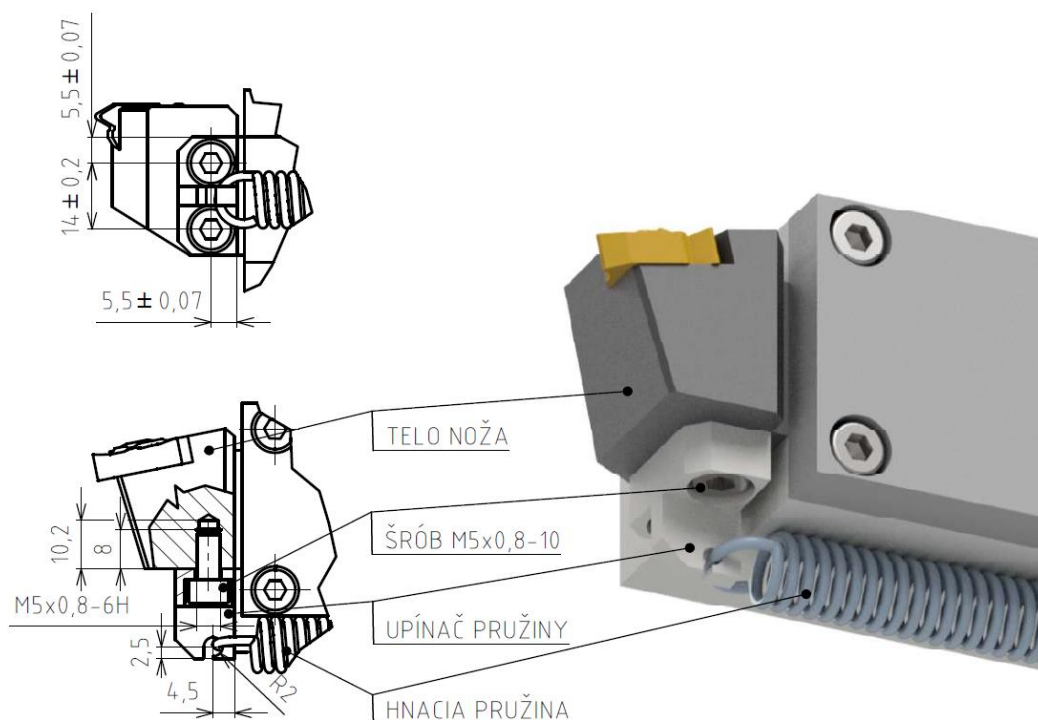
Obr. 5-6 Konštrukčná skupina upínania VBD

VBD z pochopiteľných dôvodov považujeme za spotrebný tovar, pretože po prekročení trvanlivosti všetkých britov sa doštička mení za novú. V závislosti na potrebách konečného spotrebiteľa je možné namontovať na nôž akúkoľvek doštičku s patričným upínaním a veľkosťou. Týmto je možné rozšíriť do veľkej miery úžitkové vlastnosti celého prípravku, lebo spotrebiteľ nie je obmedzený na konkrétny druh závitú ani na druh obrábaného materiálu.

5.6 Upínanie pružiny

Upnutie pružiny zabezpečuje silovú interakciu medzi nožom a telom prípravku. V predošlých kapitolách nebol tejto problematike venovaný priestor a jedinou zmienkou upnutia boli diery naznačujúce geometrické umiestnenie tohto prvku na schematických návrhoch.

Pri konštrukcii týchto upínacích prvkov je potrebné vziať do úvahy predovšetkým zakončenia pružiny. V našom prípade používame normalizovanú pružinu ukončenú uzavretou nemeckou smyčkou. Takto ukončenú pružinu je len veľmi obtiažne osadiť do obyčajného kruhového otvoru bez prístupovej drážky. Pritom neberieme do úvahy, že predpísanú pružinu je potrebné natiahnuť aby vytvárala dopredu vypočítané predpätie.



Obr. 5-7 Konštrukčná skupina upínania pružiny

V našom prípade volíme riešenie s kruhovým otvorom s vytvorenou prístupovou drážkou pre jednoduché nasadenie. To poskytne okrem jednoduchej montáže aj istotu, že pri nejakých nepredvídaných udalostiach, prípadne nešetrnej manipulácii nevyskočí pružina z pracovnej pozície.

Pri upínaní na strane tela prípravku ide o celkom jednoduché riešenie. Avšak na strane noža je potrebné okrem upínania skonštruovať aj pripevnenie upínky na samotné telo. Toto upevnenie je možné navarením v mieste implementácie, ale to môže vnieť rôzne nepresnosti a negatívne ovplyvniť celú konštrukciu. Preto sme sa rozhodli ísť čisto mechanickou cestou, a to montážou celého prvku dvoma šróbmi M5x0,8.

5.7 Vedenie noža

Kľúčovú úlohu v navrhovanom prípravku hrá vedenie noža. Toto vedenie odoberá nožu 5 stupňov voľnosti. Tak ako je telo noža tvorené štvorcovým profilom (25 x 25) mm, tak aj jeho vedenie musí kopírovať tento tvar.

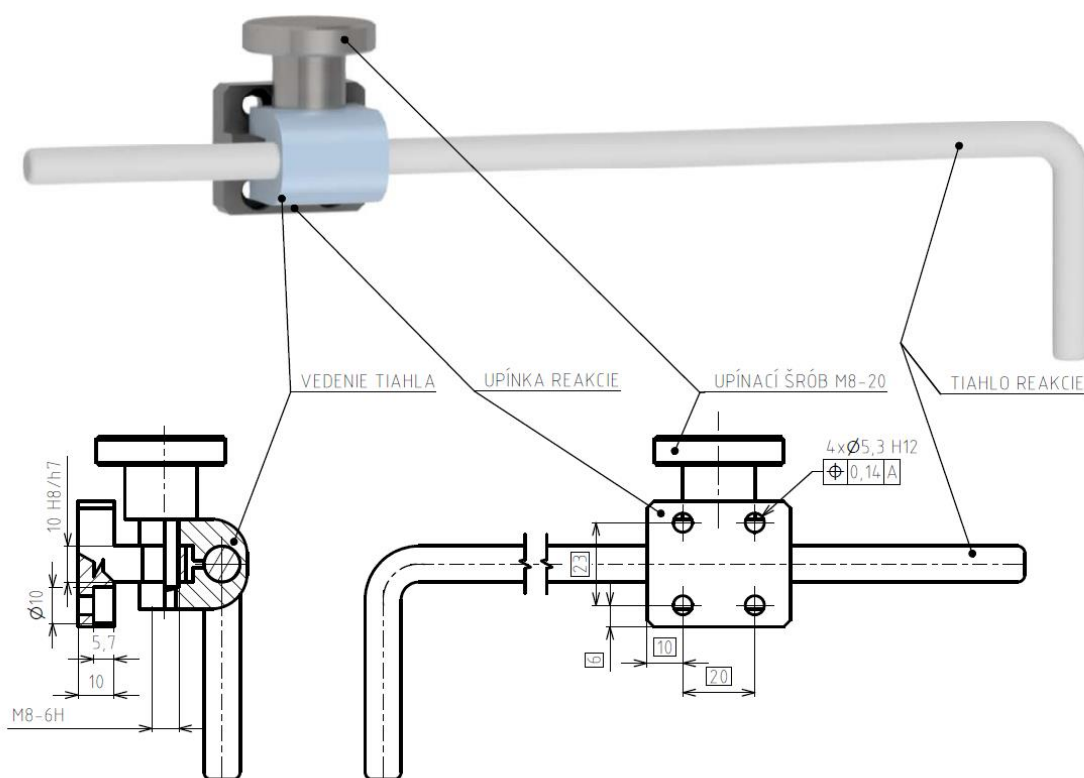
Z technologického hľadiska je bežnými metódami nemožné vyrobiť takto drážku z jedného kusu polotovaru. Preto je vedenie navrhnuté z dvoch kusov. V prvom je vytvorená drážka a druhým kusom sa drážka prekryje. Takto vytvorená dráha však musí spĺňať požiadavky na ničím neprerušovaný sklz noža. Z tohto dôvodu musí byť drsnosť kontaktných povrchov čo najnižšia. Tým docielime okrem dobrých klzných vlastností aj veľkú stykovú plochu medzi jednotlivými komponentami. Z tohto dôvodu musia mať povrchy vysokú rozmerovú a geometrickú presnosť. Spolu s mazaním napomôžeme nízkemu odporu pri zasúvaní noža do prípravku.

Mazaním stykových plôch dosiahneme ovplyvnenie trenia a silovú interakciu povrchov. Nie je prípustné, aby mazivo unikalo z konštrukcie prípravku ľubovoľne. Preto použité mazivo musí poskytovať veľkú kinematickú viskozitu. V našom prípade je preto najvhodnejšie plastické mazivo. Toto mazivo bude nanosené na stykové povrchy počas montáže a pri kontrole a pravidelnej údržbe. Okrem týchto zdrojov bude mazivo dopĺňané z mazaného kontaktu vačky a noža prebraného v predošlých kapitolách.

5.8 Konštrukčný uzol záchytu

Už v kapitole 4.1.3 sme rozoberali rôzne prevedenia záchytu vypínania aretácie spolu s ich kladmi a zápormi. V našom vybranom variante riešenia sme sa rozhodli pre záchyt, ktorý sa skladá z tiahla, vedenia, upínky a upínacieho šróbu (viď Obr. 5-8). Pre takéto riešenie konštrukčného uzla sme sa rozhodli preto, aby sme dosiahli variabilitu výkyvu tiahla voči tiahlu vačky v pracovnej pozícii. Takáto úprava nám potom umožní sústružiť širšiu paletu priemerov obrobku. Tiahlo záchytu je jednoduchá guľatina o priemere 10 mm s ohybom pre zväčšenie akčnej plochy, o ktorú sa opiera tiahlo vačky.

Toto tiahlo je upnuté za svoj vonkajší priemer vo vední tiahla. To je primontované pomocou upínacieho šróbu M8-20 na upínku reakcie. Celý tento komplet je usadený na vreteník stroja pomocou štyroch šróbov M5x0,8. Upínací otvor pre tiahlo vo vedení je narezaný drážkou so svetlosťou 2 mm. Uťahovaním upínacieho šróbu uzatvárame túto drážku a tým dosahujeme vymedzenie vôle medzi vedením a tiahlom, čím zaistíme jeho polohu. Okrem toho uťahovaním upínacieho šróbu zvierame vedenie okolo upínky a tým zaistujeme jej polohu. Samotný upínací šrób volíme s tvarovanou hlavou s rádlovaním, aby bola uľahčená manipulácia pre obsluhu. Takýto aretačný systém je jednoduchý a účinný, čím zapadá do celej koncepcie prípravku.



Obr. 5-8 Návrh konštrukčného uzla záchytu reakcie

5.9 Výroba, montáž, údržba a servis

Konštrukcia celého prípravku je zvolená tak, aby bolo možné všetky časti vyrobiť na konvenčnej horizontálnej frézke, hrotovom sústruhu, stolnej vŕtačke a brúske na plocho. Všetky tieto obrábacie stroje by mali byť bežnou výbavou každej lepšej dielne. Pri návrhu sa nepočítalo so žiadnym obrábacím centrom zapojeným do výroby. Naopak, počítalo sa s čo najväčším využitím normalizovaných konštrukčných prvkov. To uľahčuje nielen montáž, ale aj výmenu poškodených a znehodnotených dielov v prípade havárie alebo dosiahnutia konkrétneho medzného stavu. V prípade montáže je myslené pri koncepcii okrem iného aj na skladanie finálneho produktu, pričom zaručená jednoduchosť umožňuje tento proces vykonávať aj laikovi so základnými znalosťami v odbore montáže strojných zariadení.

Vykonávanie údržby stanovíme na každých 10 hodín strojného času. Táto údržba sa skladá z očistenia celého prípravku, inšpekcie kľúčových súčastí a premazania. Premazanie spočíva v napojení mazacej pumpy na mazaciu hlavicu a natlačenie čerstvého maziva do ložiska vačky a do miesta kontaktu boku vačky s nožom.

Ak by pri inšpekcii počas údržby boli zaznamenané funkčné vady, ktoré by znemožňovali ďalšiu bezchybnú prevádzku, bolo by potrebné prípravok vyradiť. Takto vyradený prípravok by sa mal rozobrať, všetky poškodené časti vymeniť a znova nastaviť do pôvodnej pozície. Toto sa netýka otupenia alebo zlomenia VBD. V takomto prípade obsluha uvoľní poistný šrób a otočí ju, eventuálne vymení doštičku za novú.

6 DISKUSIA

Cieľom tejto práce bolo navrhnúť 3 rôzne koncepčné riešenia. Z týchto koncepčných riešení bolo potrebné vybrať jedno a to dôkladne konštrukčne vypracovať, čo pozostávalo z návrhu, výpočtu základných konštrukčných uzlov a vypracovania výrobných výkresov a zostavy. Konkrétne malo byť dosiahnuté, aby konštrukcia bola jednoduchá, ale zato odolná a spoľahlivá. Prípravok mal dosiahnuť schopnosť rezať závit so stúpaním od 0,8 do 5 mm pri maximálnom vyložení nástroja 45 mm. Keďže ide o výrobu na konvenčnom stroji, je potrebné, aby bolo možné zaistiť prísun do rezu radiálne a bočne.

Z konštrukčného hľadiska sme dosiahli stanovené ciele, a to návrh viacerých variantov riešenia, ako aj výpočet a konkrétnu konštrukciu vybraného variantu. Pri realizácii celého projektu sa počítalo s veľmi robustným a masívnym prevedením. Aj napriek modernému prístupu optimalizácie na čo najvyššie ešte prístupné využitie materiálu, rozhodli sme sa ísť touto cestou. Takéto rozhodnutie padlo predovšetkým z dôvodov veľkej neistoty vo vstupných hodnotách zaťaženia a reálnym zaťažením v praxi. Na jednu stranu sa to javí ako nevýhoda, opak je však pravdou. Takýmto prístupom sme zabezpečili správnu funkciu aj v sťažených podmienkach pri zaťažení nad hornú medznú stanovenú hodnotu.

Nami navrhnutý prípravok s minimom pohybujúcich sa súčastí splňa dopredu stanovený cieľ dosiahnuť čo najväčšiu možnú jednoduchosť. Spolu s vysokými súčiniteľmi bezpečnosti aplikovanými pri výpočte to vytvára robustnú a odolnú konštrukciu. V závislosti na použitej VBD vieme kontrolovať rezné podmienky v danom systéme. Ak by sme chceli použiť vyššie rezné rýchlosti, je vhodné osadiť prípravok VBD kompatibilnou s použitou reznou rýchlosťou. To nám dodáva variabilitu nielen v použití rezného nástroja, ale aj jeho povlaku a tým možnosť kladne ovplyvniť celý proces.

Navrhnutý prípravok vďaka svojmu jednoduchému upínaniu do nožovej hlavy dovoľuje použitie techniky radiálneho a bočného prísunu do rezu. Z podstaty veci však nedokáže pracovať pri striedavom prísune. Prípravok, tak ako bol navrhnutý, dokáže vytvárať závit so stúpaním od 0,8 až po 5 mm. Obmedzením vyrobiteľného stúpania závitu je čas potrebný na vysunutie noža a tvar VBD. Čas vysunutia je funkčne závislý od hnacej sily pružiny, ktorá však bola 2,7násobne naddimenzovaná voči pôvodne počítanej sile, takže sa s celým výpočtom nachádzame na bezpečnej strane. Do výpočtu sme pritom nepočítali straty trením, aby bolo možné použiť metódu redukcie na výpočet dynamiky sústavy. Rovnako sme použili zjednodušenie s použitím konštantnej hnacej sily, zatiaľ čo v skutočnosti je hnacia sila od pružiny lineárne závislá od vysunutia noža.

Posledným cieľom bolo dosiahnutie maximálneho vyloženia nástroja 45 mm. Keďže sme pri samotnom výpočte pracovali s maximálnym možným vyložením, tak sme automaticky splnili aj posledný cieľ, pretože nôž nemôže dosiahnuť väčšie vyloženie.

Medzi slabiny konštrukcie, ktoré by mali byť adresované v podrobnejšom rozšírení riešenej problematiky, patrí predovšetkým spôsob udržania čistoty vedenia noža pri práci. Pre hlbšie a lepšie využitie prípravku, avšak s menšou univerzálnosťou, existuje možnosť zapojiť do konštrukcie aj páku rozopínania posunovej matice sústruhu. To uľahčí prácu v ešte vyššej miere, ale za cenu obmedzenia možného stúpania rezaného závitu v prípade absencie závitových hodiniek na stroji. S touto možnosťou sa vôbec nepočítalo, pretože by to zbytočne skomplikovalo návrh a daný návrh by bol implementovateľný iba priamo na konkrétny stroj. V prípade potreby je možné danú tému rozviesť ešte hlbšie a navrhnúť prípravok s vyššie opísanou funkciou.

Bohužiaľ počiatočnú hypotézu o zjednodušení ovládania pre obsluhu v podobe návrhu a konštrukcie nami navrhnutého prípravku nie je možné priamo overiť, pretože by bolo nutné daný prípravok vyrobiť a následne otestovať a porovnať s konvenčným spôsobom výroby. Prototypové skúšanie však nie je obsahom tejto práce aj napriek potenciálne zaujímavým výsledkom, ktoré by takýto experiment mohol poskytnúť. Jediné, od čoho sa vieme odraziť je zopár podobných, už skonštruovaných výrobkov, ktoré úspešne plnia svoj účel a tým dokazujú, že rozoberaná tematika má svoje opodstatnenie a je vhodné sa jej hlbšie venovať [23].

7 ZÁVER

V rozsahu pridelenej témy bakalárskej práce boli náležite vypracované všetky časti konštrukčného návrhu poloautomatického prípravku na sústruženie závitov. A to konkrétne od prvotnej rešerše problematiky, koncepcie ovládacieho mechanizmu, výpočtu všetkých dôležitých konštrukčných entít, až po vytvorenie kompletnej výkresovej dokumentácie, za pomoci ktorej bol vyrobený funkčný prototyp.

Takto sa podarilo overiť správnosť a funkčnosť celého konceptu v teoretickej rovine. Pre overenie praktickej stránky by bolo potrebné prípravok osadiť do sústruhu a uskutočniť sadu meraní a porovnať predovšetkým strojné časy, kvalitu a presnosť vyhotovených závitov. Bohužiaľ to presahuje náplň tejto práce. Rovnako presahujú rozsah práce témy, ktoré by v prípade hlbšieho záujmu mali byť adresované, a to konkrétne spôsob udržania čistoty vedenia noža, zapuzdrenie ovládacieho mechanizmu a spriahnutie ovládacieho mechanizmu s ovládaním posunovej matice.

Otázkou naďalej ostáva výsledné využitie prípravku v technickej praxi. Aj napriek tomu, že dnes sa ešte stále hojne využívajú konvenčné hrotové sústruhy, do popredia sa dostávajú sústruhy s číslicovým riadením či dokonca obrábacie centrá. Tie prekonávajú konvenčné stroje v presnosti, operačnej náročnosti a predovšetkým rýchlosti. Aj napriek istej časovej úspore pri použití prípravku na sústruženie závitov by bolo naivné predpokladať časovú úsporu voči použitiu CNC stroja. Skonštruovaný prípravok dosiahne svoje využitie až v prípade, že nie je možné použiť CNC sústruh a je nutné zapojiť manuálne obsluhu stroja. Rovnako ako všetky odvetvia, aj strojná výroba dynamicky napreduje a vyvíja sa. Moderným výrobným halám budú výhľadovo kralovať série obrábacích centier, automatizované linky a robotické pracoviská, ktoré vytlačia manuálnu obsluhu do úzadia, a to do úlohy údržby a opravy výrobných strojov namiesto priameho podielu na strojnej výrobe. Preto otázku konečného uplatnenia navrhnutého prípravku necháme na každom čitateľovi zvlášť.

8 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

1. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. Základy konstruování. Vydání sedmé, přepracované a doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2019, 243 stran : ilustrace ; 25 cm. ISBN 978-80-7623-009-5.
2. SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE, Richard G. (Richard Gordon) BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. Konstruování strojních součástí. V Brně: VUTIAM, 2010, xxv, 1159 s. : il. ; 26 cm. ISBN 978-80-214-2629-0.
3. ČSN EN 10 226-1. Praha: Český normalizační institut, 2005.
4. ČSN ISO 68-1. Praha: Český normalizační institut, 2000.
5. HUMÁR, Anton. TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část [online]. Brno, 2004 [cit. 2021-10-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-2cast.
6. HOW TO THREAD ON LATHE MACHINE. EXTERNAL AND INTERNAL THREADS [online]. 2015 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://i.ytimg.com/vi/zUK2r9VYfjA/maxresdefault.jpg>
7. Threadmilling [online]. [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://www.stevenson-engineers.co.uk/files/threadmilling.jpg>
8. HIMA [online]. Bretzfeld: Hieber & Maier [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://hima.de/produkte/?lang=en>
9. Valcovanie závitov. JVM metal [online]. Stará Paka: JVM metal [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://www.jvmmetal.cz/sk/valcovanie-zavitov/>
10. TSCHÄSCH, Heinz. Applied machining technology. 8th. New York: springer, 2008. ISBN 978-3-642-01006-4.
11. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 270 s. : il., tabulky, grafy, schémata. ISBN 80-214-3068-0.
12. KHOSTIKOEV, M. Z., V. U. MNATSAKANYAN, V. A. TEMNIKOV a Wei Pyu MAUNG. Quality control of rolled threads. Russian Engineering Research [online]. 2015, 35(2), 143-146 [cit. 2022-05-11]. ISSN 1068-798X. Dostupné z: doi:10.3103/S1068798X15020100
13. MIKOVEC, Miroslav. Příručka pro soustružníky. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1972.

14. MONROY VAZQUEZ, Karla P., Claudio GIARDINI a Elisabetta CERETTI. Cutting Force Modeling. CIRP Encyclopedia of Production Engineering [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014, 2014-2-4, , 315-329 [cit. 2021-11-21]. ISBN 978-3-642-20616-0. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-642-20617-7_6399
15. HUMÁR, Anton. TECHNOLOGIE 1: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část [online]. Brno, 2003 [cit. 2021-11-09]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.
16. HOFFMAN, Peter J., Eric S. HOPEWELL a Brian JANES. *Precision machining technology*. 2nd ed. New York: Cengage Learning, c2015. ISBN 978-1-2854-4454-3.
17. Generalized modeling of chip geometry and cutting forces in multi-point thread turning. International Journal of Machine Tools and Manufacture [online]. 2015, 28.8.2015, (98), 21-32 [cit. 2022-02-14]. ISSN 08906955. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijmachtools.2015.08.005
18. Mateza s.r.o [online]. Havlíčkův Brod, 1991 [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/e-shop/pruzina-vinuta-tazna-s-oky-d-d-12-1-8-mm-l-87-2-mm-nerez-1-4310>
19. Sandvik Coromant [online]. [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=266RFG-2525-22>
20. ČSN 411375. OCEL 11375. Praha: Český normalizační institut, 1994.
21. ČSN 412050. OCEL 12050. Praha: Český normalizační institut, 1994.
22. SKF [online]. [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/roller-bearings/needle-roller-bearings/drawn-cup-needle-roller-bearings/productid-HK%201212?system=metric>
23. NielsMachines [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.nielsmachines.com/en/tripan-tri-151-retractable-threading-tool-holder-s.html>

9 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK, SYMBOLOV A VELIČÍN

P_h	stúpanie závitú
d	priemer tvoriacej plochy, veľký priemer vonkajšieho závitú (menovitý priemer), malý priemer drôtu pružiny
φ	trecí uhol
f	súčiniteľ šmykového trenia
ψ	uhol stúpania závitú
α	vrcholový uhol závitú
P	rozteč závitú
D	veľký priemer vnútorného závitú (menovitý priemer), priemer obrobku
D_2	stredný priemer vnútorného závitú
d_2	stredný priemer vonkajšieho závitú
D_1	malý priemer vnútorného závitú
d_1	malý priemer vonkajšieho závitú
R	polomer zaoblenia dna závitú
H	výška základného trojuholníka
n, n_o	otáčky vretena, otáčky obrobku
v_c	rezná rýchlosť
v_f	posunová rýchlosť
v_e	celková rýchlosť
f	posuv na otáčku obrobku
n_s	otáčky vodiaceho šróbu
s_o	stúpanie závitú na obrobku
s_ξ	stúpanie vodiaceho šróbu
i	celkový prevod medzi vreteníkom a vodiacim šróbom
i_p	prevod posunovej prevodovky
i_k	prevod vymeniteľnými ozubenými kolesami

z_i	počet zubov prevodových kolies
F_C	rezná sila
F_f	posunová sila
F_p	pasívna sila
F	celková rezná sila
k_c	merný rezný odpor
A_D	plocha menovitého prierezu triesky
a_p	šírka záberu ostria
C_F	materiálové konštanty
x_F	exponenty vplyvu šírky záberu ostria
y_F	exponentny vplyvu posuvu
<i>HSS</i>	high speed steel, rýchlorezná oceľ
<i>SK</i>	zlinutý karbid
<i>WC</i>	karbid volfrámu,
<i>SiC</i>	karbid kremíku, karborundum
<i>PKNB,KNB</i>	polykryštalický kubický nitrid bóru
<i>PD</i>	polykryštalický diamant
<i>TiC</i>	karbid titánu
<i>TiCN</i>	kyanid titánnny, titán karbo nitrid
<i>TiN</i>	nitrid titánu
<i>VBD</i>	vymeniteľná britová doštička
<i>QCTP</i>	quick change tool post, rýchloupínacia nožová hlava
i_v	počet stupňov voľnosti voľného telesa
n	počet telies, vrátane základného telesa
ξ	počet stupňov voľnosti odobratých jednotlivými väzbami
t	čas na vysunutie noža
a	zrýchlenie noža
F_A	hnacia sila potrebná na nôž
m_{RED}	redukovaná hmotnosť sústavy
L_0	dĺžka pružiny vo voľnom stave

k	tuhosť pružiny
F_i	predpätie
F_h	maximálna sila
F_n	minimálna sila
R_m	medz pevnosti
C_1, C_2, C	pomer vinutia
K_1, K_2, K_B	súčinitele zohľadňujúce zakrivenie drôtu pružiny, Bergstässerov koeficient
σ_A	normálové napätie v bode A
σ_C	medz únavy
σ_m	stredné napätie
σ_a	amplitúda napätia
k_{KA}	súčiniteľ bezpečnosti k medznému stavu pružnosti v bode A
$k_{úA}$	súčiniteľ bezpečnosti k medznému stavu únavy v bode A
τ_B	šmykové napätie v bode B
τ_C	medz únavy v šmyku
R_{sm}	medz pevnosti v krute
τ_{aB}	amplitúda šmykového napätia v bode B
τ_{mB}	stredná hodnota šmykového napätia v bode B
k_{KB}	súčiniteľ bezpečnosti k medznému stavu pružnosti v bode B
$k_{úB}$	súčiniteľ bezpečnosti k medznému stavu únavy v bode B
τ_{aC}	amplitúda šmykového napätia v bode C
τ_{mC}	stredná hodnota napätia v bode C
k_{KC}	súčiniteľ bezpečnosti k medznému stavu pružnosti v bode C
$k_{úC}$	súčiniteľ bezpečnosti k medznému stavu únavy v bode C
M_o, M_{ox}, M_{oz}	ohybový moment, ohybový moment v zložkách
σ_o	napätie v ohybe
W_o	modul prierezu v ohybe
τ_{MK}	šmykové napätie od krutu
W_k	modul prierezu v krute

σ_{RED}

redukované napätie

k_u

súčiniteľ bezpečnosti k medznému stavu únavy

10 ZOZNAM OBRÁZKOV A GRAFOV

Obr. 2-1 Geometria rozvinutej závitnice [1], závitnica v kolmej axonometrií.....	14
Obr. 2-2 Profily závitov: (a) metrický, palcový, Whitwortov, trubkový (b) lichobežníkový (c) oblý [1]	15
Obr. 2-3 Profil metrického závitu [4].....	16
Obr. 2-4 (a) Sústruženie závitu [6] (b) frézovanie závitu [7]	20
Obr. 2-5 Valcovanie závitov (a) plochými čeľusťami [8] (b) kotúčovými čeľusťami [9] .	20
Obr. 2-6 Brúsenie (a) jednoprofilovým (b) hrebeňovým kotúčom [10].....	21
Obr. 2-7 Kinematika rezného pohybu pri výrobe závitu [5].....	24
Obr. 2-8 Spôsoby prísunu noža do rezu: (a) radiálny prísun (b) bočný prísun (c) striedavý prísun [13].....	25
Obr. 2-9 Schéma rezného procesu [14]	26
Obr. 2-10 Porovnanie jednotlivých rezných materiálov podľa tvrdosti a húževnatosti [15]	28
Obr. 2-11 Schéma procesu sústruženia	30
Obr. 4-1 Vysunutie noža z rezu (a) transláciou (b) rotáciou	33
Obr. 4-2 Upínanie nástrojov (a) štvorpolohová nástrojová hlava (b) rýchloupínacia hlava [10]	34
Obr. 4-3 Kinematická schéma mechanizmu (a) s vačkou (b) s náhradným mechanizmom	36
Obr. 4-4 Schematický náčrt variantu prípravku s vačkou	37
Obr. 4-5 Schematický náčrt variantu prípravku s kľukou	38
Obr. 4-6 Kinematická schéma sústavy s prepákováním	39
Obr. 4-7 Schematický náčrt variantu prípravku s prepákováním	40
Obr. 5-1 Ilustrácia vybraného koncepčného riešenia implementovaná na sústruhu.....	42
Obr. 5-2 Ukážka nebezpečných miest na použitej ťažnej pružine.....	45
Obr. 5-3 Silové zaťaženie noža a nebezpečný bod prierezu.....	49
Obr. 5-4 Použitý návrh a parametre vačky	52
Obr. 5-5 Konštrukčná skupina uloženia vačky.....	53
Obr. 5-6 Konštrukčná skupina upínania VBD.....	54
Obr. 5-7 Konštrukčná skupina upínania pružiny	55

Obr. 5-8 Návrh konstrukčného uzla záchytu reakcie 57

11 ZOZNAM TABULIEK

Tab. 2-1 Porovnanie vybraných metód z pohľadu dosiahnuteľnej presnosti a drsnosti [11,12]	21
Tab. 5-1 Vstupné parametre a sily odmerané pomocou dynamometra [17]	43
Tab. 5-2 Vstupné údaje výpočtu pružiny [18].....	44
Tab. 5-3 Dovoľené napätie v pružine v percentách R_m [2].....	45
Tab. 5-4 Dôležité parametre vybraného ložiska [22]	53

12 ZOZNAM PRÍLOH

Výpočty:

BP_Príloha výpočty

Výkresová dokumentácia:

BP_00_1 – Prípravok – výkres zostavy

BP_00_2 – Periféria – výkres zostavy

BP_01 – Telo prípravku – výkres súčasti

BP_02 – Kryt vedenia – výkres súčasti

BP_03 – Telo noža – výkres súčasti

BP_04 – Vačka – výkres súčasti

BP_05 – Čap – výkres súčasti

BP_06 – Páka – výkres súčasti

BP_07 – Záchyt pružiny – výkres súčasti

BP_08 – Úchyt upínky – výkres súčasti

BP_09 – Upínka tiahla – výkres súčasti

BP_10 – Tiahlo – výkres súčasti