

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

**Návrh technologie pro úpravy
konců pružin**

**MIHL
VIKTOR**

2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mihl** Jméno: **Viktor** Osobní číslo: **475420**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Výrobní inženýrství**
Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh technologie pro úpravy konců pružin

Název diplomové práce anglicky:

Design of technology for forging spring ends

Pokyny pro vypracování:

1. Seznámení s problematikou
2. Popis současného způsobu výroby pružin
3. Návrh nové technologie úpravy konců pružin
4. Ověření návrhu pomocí numerické simulace
5. Závěrečné zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

ASM Handbook Volume 14A: Metalworking: Bulk Forming
Simufact forming application manual
Další literatura na doporučení vedoucího práce

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. František Tatíček, Ph.D. ústav strojírenské technologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Ing. Lukáš Chrást'anský, Ph.D. ústav strojírenské technologie FS

Datum zadání diplomové práce: **26.04.2023** Termín odevzdání diplomové práce: **11.08.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2023**

Ing. František Tatíček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Anotace

Jméno autora:	Viktor Míhl
Název práce:	Návrh technologie pro úpravy konců pružin
Anglický název:	Design of technology for forging spring ends
Rozsah práce:	59 stran 40 obrázků
Akademický rok:	2022/2023
Ústav:	12 133 Ústav strojírenské technologie
Studijní program:	N071TVIN
Vedoucí práce:	Ing. František Tatíček, Ph.D., Ing. Lukáš Chrášťanský Ph.D.
Klíčová slova:	Tváření, kovací válce, šroubové pružiny, Simufact Forming simulation
Key words:	Forming, forging cylinders, coil springs, Simufact Forming simulation

Abstrakt

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku návrhu technologie pro úpravy konců pružin. V práci je proveden základní rozbor možných způsobů výroby a je navržen technologický postup pro úpravu polotovarů konců pružin před jejich výrobou navíjením. Dále je proveden návrh kovacích nástrojů včetně rozboru upravovaného konce modelové varianty. Je provedeno ověření návrhu v simulačním softwaru Simufact Forming a navržen obecný postup pro návrh technologického postupu.

Abstract

This thesis is focused on the design of technology for the modification of spring ends. In the thesis, a basic analysis of possible production methods is made and a technological procedure for modification of semi-finished spring ends before their production by winding is proposed. Furthermore, the design of forging tools including the analysis of the modified end of the model variant is carried out. The design is verified in Simufact Forming simulation software and a general procedure for the design of the technological process is proposed.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma „Návrh technologie pro úpravy konců pružin“ vypracoval samostatně a veškeré literární prameny a zdroje informací, které jsem použil, cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

.....

Jméno, Příjmení

Poděkování

Děkuji tímto vedoucím práce Ing. Františku Tatičkovi Ph.D. a Lukáši Chrášťanskému Ph.D. za vhodné rady, vedení, pomoc a nápady při vypracování diplomové práce. Nemalé díky, patří i kolegovi Ing. Vítu Novákovi. Dále také děkuji svojí rodině a přátelům za podporu při vypracování diplomové práce.

Obsah

Zadání diplomové práce	2
Anotace.....	3
Abstrakt	4
Abstract	4
Čestné prohlášení	5
Poděkování	6
1. Úvod	10
2. Teoretický rozbor zadání	11
2.1 Seznámení s problematikou	11
2.2 Druhy pružin.....	12
2.2.1 Dělení dle průběhu deformace	13
2.2.2 Dělení dle způsobu zatěžování.....	14
2.2.3 Dělení dle způsobu namáhání.....	14
2.2.4 Dělení dle průřezu drátu.....	14
2.2.5 Dělení dle použitého materiálů	15
2.3 Šroubové pružiny	15
2.3.1 Popis základních stavů pružin	16
2.3.2 Parametry šroubové pružiny.....	16
2.3.3 Závěrné konce válcových pružin	17
2.3.4 Použití pružin	18
2.4 Výrobní vady při výrobě pružin	18
2.4.1 Vady rovinatosti dosedacích ploch pružin	18
2.4.2 Vady zbrošení dosedacích ploch.....	19
2.4.3 Vady válcovitosti pružin	19
2.5 Materiály používané pro výrobu	19

2.5.1	Nelegované ušlechtilé oceli	20
2.5.2	Legované pružinové oceli	20
2.5.3	Používané oceli	20
2.6	Tepelné zpracování pružin	21
2.6.1	Patentování.....	21
2.6.2	Zušlechťování.....	21
2.7	Výroba pružin.....	22
2.7.1	Navíjení pružin za studena.....	23
2.7.2	Navíjení pružin za tepla.....	25
2.8	Problematika tváření.....	26
2.8.1	Faktory ovlivňující tvářecí proces.....	27
2.8.2	Tvářitelnost.....	28
3.	Návrh technologie tváření	29
3.1	Návrh polotovaru výkovku	29
3.1.1	Volba tvářecího stroje.....	29
3.1.2	Volba přídavek.....	29
3.1.3	Volba vnitřní blány.....	30
3.1.4	Volba úkosů	30
3.1.5	Volba poloměru zaoblení.....	30
3.1.6	Volba výronkové drážky.....	30
3.1.7	Stanovení tvaru, hmotnosti a rozměrů polotovaru	31
3.1.8	Metody dělení.....	31
3.1.9	Volba tvářecích teplot, metoda a doba ohřevu	31
3.2	Rozbor navrženého tvaru konce	31
3.2.1	Vliv úhlu klínu na výsledné rozměry konce	33
3.3	Návrh tvářecího postupu	34

3.3.1	Manipulace s materiálem	34
3.3.2	Ohřev materiálu	35
3.3.3	Návrh technologie tváření	37
3.4	Návrh nástrojů	40
3.4.1	Popis klínu v CAD	41
3.4.2	Modelování vačky	42
4.	Numerická simulace.....	45
4.1	Nastavení simulace	46
5.	Návrh úpravy konce tyče	49
5.1	Metodika určení tvaru konce	49
5.2	Návrh manipulace s materiálem při úpravě konce tyče.....	50
5.3	Proces válcování konce tyče.....	52
6.	Závěr	53
7.	Seznamy.....	55
7.1	Seznam literatury	55
7.2	Seznam obrázků	58
7.3	Seznam tabulek.....	59
7.4	Seznam příloh	59

1. Úvod

Tato diplomová práce se zabývá návrhem technologie pro úpravy konců polotovarů určených pro výrobu tlačných vinutých pružin. Tento technologický krok má za cíl zvýšení produktivity, snížení výrobních nákladů, úsporu energie a materiálu z hlediska vstupního polotovaru. Tato práce se zabývá problematikou tlačných pružin, které mají jmenovitý průměr polotovaru přibližně v rozmezí 15–55 mm.

Pružiny jsou strojní součásti, které se elasticky deformují v jednom směru za působení vnější síly. Po odlehčení se pružina vrací do své původní nulové polohy L_0 . Pružiny se používají pro tlumení rázů a vibrací, pro absorbování energie, jako například statických nebo dynamických sil nebo pro mechanické vratné pohyby strojních zařízení.

Pružiny lze rozdělit podle namáhání, materiálu nebo geometrie. Jak je podrobněji popsáno v textu dále. Vlastní práce se zabývá problematikou šroubových pružin, které se vyrábějí navíjením, přičemž tento proces je možné realizovat za tepla i za studena. Tato práce se především zaměří na technologii navíjení tlačných vinutých pružin na otočný trn za tepla, tedy nad teplotou rekrystalizace daného materiálu.

Výroba vinutých pružin může být velmi komplikovaná hned z několika důvodů, mezi které patří například manipulace s materiálem, správná rychlost ohřevu, dodržení správné teploty pro dosažení vhodných mechanických vlastností a tepelné zpracování (kalení a popuštění). Dalším důležitým faktorem je, že tlačná pružina musí mít na obou stranách paralelní plochy, které se dnes obrábí po navinutí technologií broušením na speciálních bruskách.

Cílem práce je nalezení řešení úpravy konce polotovarů pro výrobu pružin, které povede ke snížení spotřeby materiálu, energetickým a časovým úsporám.

2. Teoretický rozbor zadání

2.1 Seznámení s problematikou

Při výrobě vinutých pružin je zásadní zajistit, aby oba konce pružiny byly po navinutí vzájemně paralelní, čehož se docílí například třískovým obráběním. S ohledem na vlastnosti pružin je jednou z možností broušení na speciálních bruskách. Jelikož jsou nároky na přesnost dosedacích ploch velmi důležité, není možné tento krok nijak nahradit nebo zcela vynechat. Dalším důležitým faktorem v dnešní době je celosvětový tlak na cenu, díky které dokážeme výrobek učinit na trhu konkurenceschopným. S ohledem na výrobní časy se broušení využívá především k malým úběrům, pokud nelze učinit jinak. Produktivitu práce lze ovlivnit snížením času broušení, energie a vstupního materiálu polotovaru, a tím bude docíleno zefektivnění výroby.

Tato diplomová práce se bude zabývat problematikou návrhu úpravy konců pružin. V práci bude navržena a ověřena technologie pro výrobu klínu na modelovém příkladu konce tyče. Po navinutí takto upraveného polotovaru, budou dosedací plochy téměř paralelní, takže jejich broušení proběhne pouze s malým úběrem. Cílem je zajistit úsporu času, materiálu a energie, nákladů na nástroje a stroje pro broušení. Důsledkem této optimalizace bude snížení času výroby, čímž se zvýší produktivita práce.

V rámci práce bude navržen CAD model kovacího nástroje, který bude sloužit jako popis geometrie nástroje pro simulace v simulačním softwaru Simufact Forming, pomocí kterého bude verifikován provedený návrh. Výsledky numerické simulace budou dále použity pro optimalizaci.

Úprava konce polotovaru technologií obrábění není zcela vhodná, zejména kvůli použití dlouhých tyčových polotovarů, jejichž délka dosahuje i několik metrů. Manipulace a dávkování do obráběcích strojů (frézek) by bylo velmi složité a těžko automatizovatelné. Navrhnout by to jistě možné bylo, jenže zde jsou i další problémy jako vysoký obsah křemíku u těchto ocelí, což může kvůli zvýšené tvrdosti ztížit obrábění. Celkově by tato technologie byla zbytečně nákladná a málo produktivní, protože nároky na přesnost u této úpravy konců tyčí nejsou nijak velké a při navíjení pružin stejně vznikne odchylka dosedacích ploch, která vždy musí být odstraněna broušením.

Jako druhou možnost lze uvažovat úpravu konců řezáním plazmovým nebo acetyleno-kyslíkovým řezákem, kterým se odřízne přebytečný materiál závěrného závitu po navinutí pružiny. Tato technologie je více efektivní a jednodušší proti obrábění.

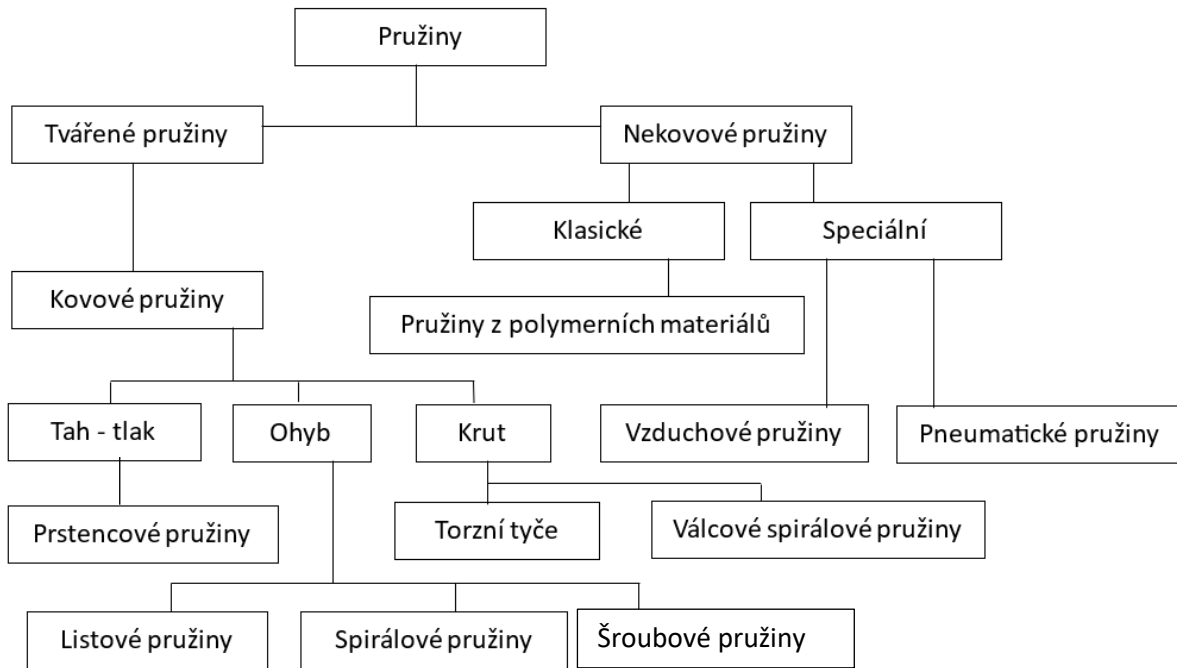
Vhodnější technologií by mohlo být tváření za tepla, kde polotovar bude ohřát, tudíž jeho mechanické vlastnosti nebude hrát takovou roli z hlediska působících sil. Navíc se tento proces bude dít velmi dobře automatizovat, a zároveň provést úpravu v požadovaných tolerancích. Tváření konců má také výhodu v úspoře materiálu polotovaru, která je dána povahou procesu. Možnými technologiemi pro kování klínu je volné kování na bucharu nebo rotační kování.

Rotační kování je technologie, která se pro úpravu polotovarů nabízí, díky vysoké produktivitě práce s poměrně jednoduchými nástroji. Ty vykovou na koncích polotovaru klín pomocí třech průchodů, který po navinutí pružiny vytvoří na koncových plochách pružiny paralelní plochy. Tyto plochy poté budou též upraveny broušením, ale jen s výrazně malým přídatkem. Broušením se dosáhne požadované délky pružiny. Z toho plyne úspora času, materiálu, energie, a z toho plyne zvýšení produktivity práce, snížení nákladů na nástroje i samotné brusky. Zde je nutno ovšem podotknout, že pro každý průměr polotovaru a střední průměr pružiny se musí vytvořit vhodný kovací nástroj pro válcovací stroj. Tato problematika bude dále rozebrána v práci. Z tohoto vyplývá, že úspory budou výraznější pouze v případě minimální sériovosti výroby. Nástroje je možné vyrobit v dnešní době v podstatě bez problému díky CNC obráběcím strojům. Největším nákladem pro firmu, při využití úpravy pomocí válcování je vlastní pořízení válcovacího stroje, který stojí statisíce korun. Dalšími náklady je zařízení pro frekvenční ohřev konců polotovaru, a také manipulační jednotka, bez které by nebylo možné proces s ohledem na rozměry polotovaru realizovat.

2.2 Druhy pružin

Pružiny lze rozdělit do několika skupin podle různých kritérií. Základní rozdělení pružin je na šroubové, torzní, listové, talířové, spirálové. Tato diplomová práce se bude zabývat válcovými tlačnými pružinami, které jsou ze skupiny šroubových pružin.

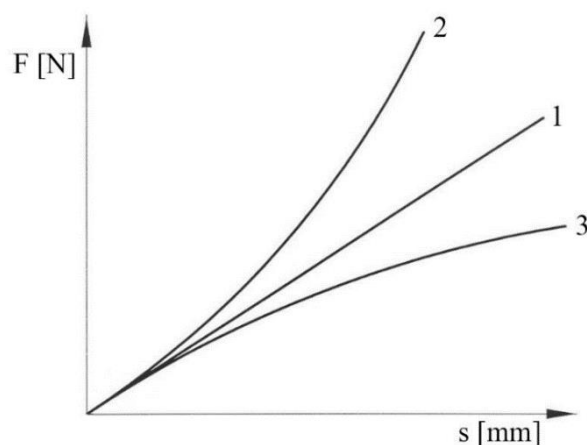
Základní dělení pružin:



Obr. 1 Přehled druhů pružin [1]

2.2.1 Dělení dle průběhu deformace

- 1) Pružiny s lineární charakteristikou – například válcové pružiny
- 2) Pružiny s progresivní charakteristikou – například talířové pružiny
- 3) Pružiny s degresivní charakteristikou – například kuželové tlačné pružiny



Obr. 2 Druhy zatěžujících charakteristik pružin [2]

- Válcová vinutá pružina má charakteristiku 1), tedy lineární. Jinou charakteristiku lze získat změnou tvaru vinutí viz. Obr. 3 nebo proměnlivým stoupáním šroubovice. [3]

2.2.2 Dělení dle způsobu zatěžování

- 1) Dynamické zatížení - Pružiny namáhané kmitavě (dynamicky), tj. s cyklickými změnami zatížení s požadavkem životnosti od 10^5 pracovních cyklů výše.
 - lze dále rozdělit na pružiny:
 - a) s omezenou životností, kde se počet cyklů pohybuje $10^5 < N < 10^7$
 - b) s neomezenou životností, kde se počet cyklů pohybuje $N > 10^7$
- 2) Statické zatížení – Pružiny namáhané staticky nebo s nižší proměnlivostí, tj. s cyklickými změnami zatížení s požadavkem životnosti méně než 10^5 pracovních cyklů. [4],[5]

2.2.3 Dělení dle způsobu namáhání

- 1) Pružiny pro namáhání osovými silami (tlakem/tahem)
 - Šroubové pružiny
 - Talířové a deskové pružiny
 - Kroužkové (prstencové) pružiny
 - Svitkové pružiny [5]
- 2) Pružiny pro namáhání příčnými silami (ohybem)
 - Listové pružiny
 - Tvarové pružiny [5]
- 3) Pružiny pro namáhání točivými momenty
 - Torzní tyče
 - Spirálové pružiny
 - Šroubové pružiny [5]

2.2.4 Dělení dle průřezu drátu

- 1) Pružiny s kruhovým průřezem – nejčastěji používané
- 2) Pružiny s nekruhovým průřezem – Pružiny s drátem obdélníkového nebo čtvercového průřezu se nejčastěji používají v aplikacích, kde je při relativně vyšším zatížení požadována nízká výška pružiny (pružiny s $b > h$). [5]

2.2.5 Dělení dle použitého materiálu

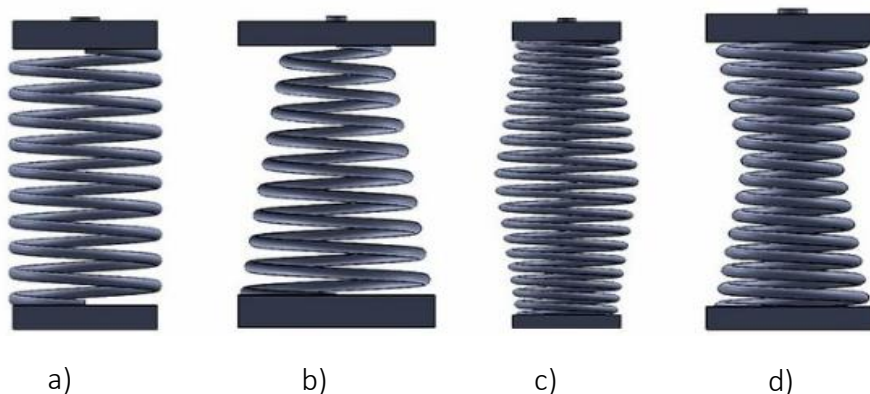
- 1) Kovové materiály – nelegované ušlechtilé oceli, legované pružinové oceli, nerezové oceli, slitiny mědi, slitiny titanu, slitiny niklu, slitiny kobaltu
- 2) Neželezné materiály – Plasty, kompozity, vzduchové, pneumatické [5]

2.3 Šroubové pružiny

Šroubové tlačné pružiny jsou strojní součásti, které se deformují za působení vnějšího zatížení. Používají se například v podvozcích železničních nebo automobilových dopravních prostředků. Jejich původ sahá do roku 1763, kdy britský vynálezce R. Tradewell podal první patent na šroubovou pružinu. V té době nahradily listovou pružinu v automobilovém odpružení, jelikož při stejném tlumícím účinku dosahují nižší hmotnosti a jsou méně náročné na údržbu. Dnes jsou šroubové pružiny nejpoužívanějším a nejrozšířenějším typem.

Tlačná pružina zatížená osovou silou je namáhána kombinovaně na krut, ohyb, smyk a tlak. Průřez drátu je v libovolném místě namáhán silou F a momentem $M_v = F \cdot r$. V provozu je schopná akumulovat mechanickou energii, pružně vyvozovat nebo přenášet vnější silové účinky a snižovat nebo naopak zvyšovat účinky mechanických rázů, otřesů, kmitů a vibrací. [5]

Dnes se již tlačné pružiny objevují téměř všude a existuje jich několik typů např. a) válcová, b) kuželová, c) soudečková konkávní nebo d) soudečková konvexní. (obr. 3)



Obr. 3 Typy tlačných pružin [6]

2.3.1 Popis základních stavů pružin

Pružiny se obecně mohou nacházet v několika stavech, které jsou uvedeny v následující tabulce. Indexy "s" jsou znázorněny na Obr. 4.

Stav pružiny	Popis stavu pružiny	Index
volný	pružina není zatížena	s0
předpružený	na pružinu působí minimální pracovní zatížení	s1
plně zatížený	na pružinu působí maximální pracovní zatížení	s8
mezní	na pružinu působí mezní zatížení, které je dáno pevností materiálu nebo konstrukčními omezeními (např. maximálním stlačením tzn. dosednutí závitů)	s9

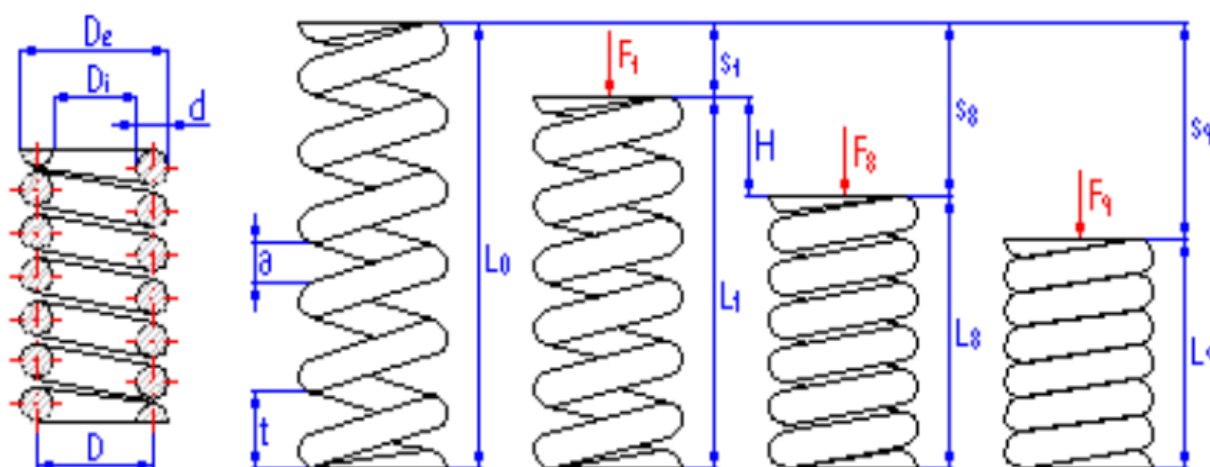
Tab.1 Popis stavů pružin a jejich značení [7]

2.3.2 Parametry šroubové pružiny

Válcová tlačná pružina je plně určena následujícími parametry:

Charakteristické parametry pružiny		
D [mm] – střední průměr vinutí	L_1 [mm] – délka předpružené pružiny	z [-] – počet závěrných závitů
D_e [mm] – vnější průměr vinutí	L_8 [mm] – délka plně zatížené pružiny	G [MPa] – modul pružnosti ve smyku
D_i [mm] – vnitřní průměr vinutí	F_1 [N] – minimální pracovní zatížení	s_0 [-] – deformace bez zatížení
d [mm] – průměr drátu	F_8 [N] – maximální pracovní zatížení	s_1 [-] – deformace ve stavu předpruženém
n [-] – počet činných závitů	τ_8 [Mpa] napětí při max. zatížení	s_8 [-] – deformace ve stavu plně zatíženém
L_0 [mm] – volná délka pružiny	t [mm] – stoupání šroubovice	s_9 [-] – deformace ve stavu mezním

Tab.2 Charakteristické parametry pružin [7]



Obr. 4 Schéma základních parametrů pružiny [7]

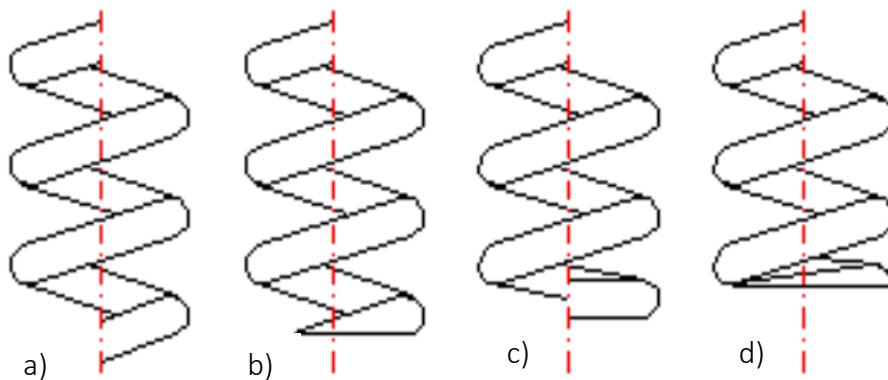
2.3.3 Závěrné konce válcových pružin

Pružina má pracovní a závěrné závity. Pracovní závity se mohou navzájem dotýkat pouze při mezním stavu. Závity závěrné slouží k tomu, aby síla stlačující pružinu působila v její ose. Tyto závity se mohou dotýkat i ve stavu pružiny bez zatížení, jelikož jejich stoupání je menší než u závitů pracovních. Závěrné závity bývají opracovány například technologií broušení. Pro zajištění správného stavu působení síly v ose se také používá speciálních opěrných podložek.

Při výrobě šroubových pružin se polotovar požadovaného průřezu za tepla navíjí na otočný trn. Tato metoda se používá u pružin, u kterých je průměr kruhového polotovaru přibližně větší než 15 mm. Dalším způsobem je navíjení za studena pro pružiny s menším průměrem polotovaru na speciálních navíjecích automatech. Navíjení probíhá s ohledem na požadovaný střední průměr D . [4]

Druhy zakončení válcových pružin:

- a) Neobrobená pružina bez závěrného závitu
- b) Obrobená pružina bez závěrného závitu
- c) Neobrobená pružina se závěrným závitem
- d) Obrobená pružina se závěrným závitem



Obr. 5 Zakončení šroubovitých pružin [7]

2.3.4 Použití pružin

V průmyslu mají pružiny široké spektrum uplatnění a používají se zejména k následujícím účelům:

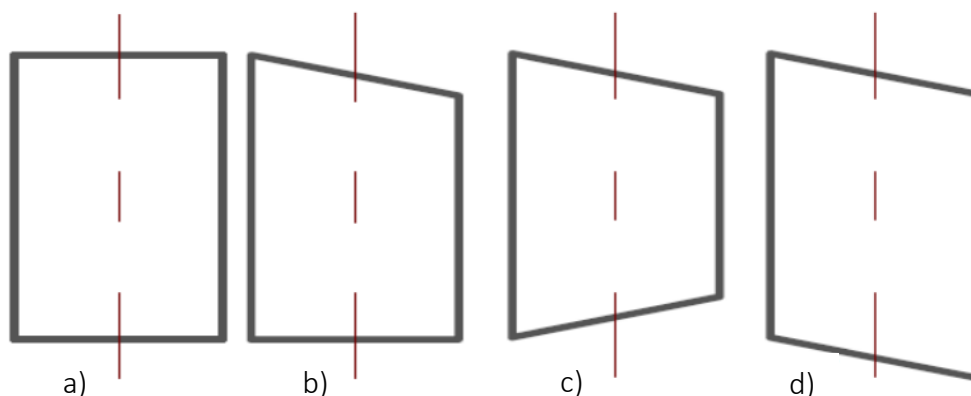
- 1) K akumulaci mechanické energie pro pohony (například hodinky)
- 2) K vyvozování momentů a sil (například pružiny ventilů spalovacích motorů)
- 3) K měření sil a momentů (dynamometry)
- 4) Ke snižování dynamických účinků rázů, otřesů, kmitů a vibrací (například odpružení podvozků)
- 5) Ke zvyšování dynamických účinků kmitů a vibrací (například vibrátory, vibrační dopravníky)
- 6) K pružnému přenosu sil a momentů (například pružné spojky) [5]

2.4 Výrobní vady při výrobě pružin

U válcových vinutých pružin můžeme pozorovat různé typy nepřesností, které vznikají při jejich výrobě. Mezi tyto vady patří špatná rovinatost dosedacích ploch, křivé zbroušení drátu na dosedacích plochách, a také rozměrové a úhlové nepřesnosti. [8]

2.4.1 Vady rovinatosti dosedacích ploch pružin

Při výrobě se může stát, že dosedací plochy (čela pružin), mohou být vychýlené vzhledem k hlavní podélné ose. Na Obr. 6 lze vidět 4 možné případy, jak vypadá rovina, která vznikne ze tří bodů, které jsou umístěny na dosedací ploše pružiny. Na Obr. 6 jsou znázorněny tři možné případy chyb rovinatosti. Příklad a) představuje ideální výsledek. [8]

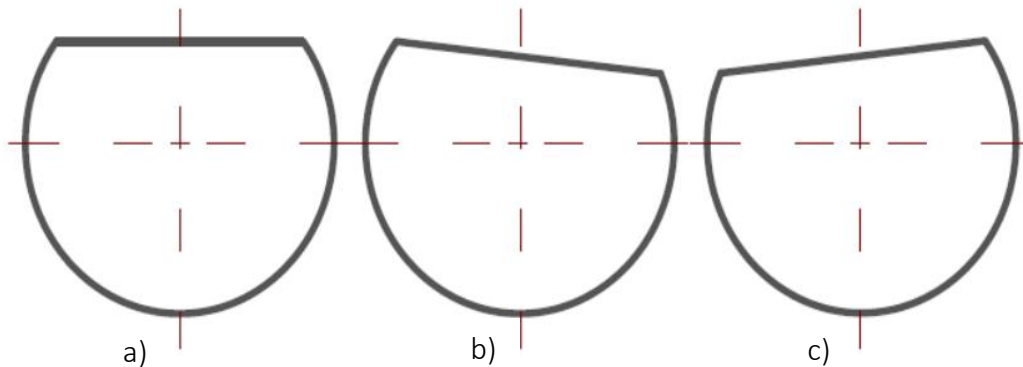


Obr. 6 Možné vady rovinatosti dosedacích ploch pružiny [8]

2.4.2 Vady zbroušení dosedacích ploch

Vady nerovnoměrného zbroušení drátu se negativně projevují a ovlivňují funkčnost šroubových pružin. Podle technologického výrobního procesu lze tyto vady zanedbat.

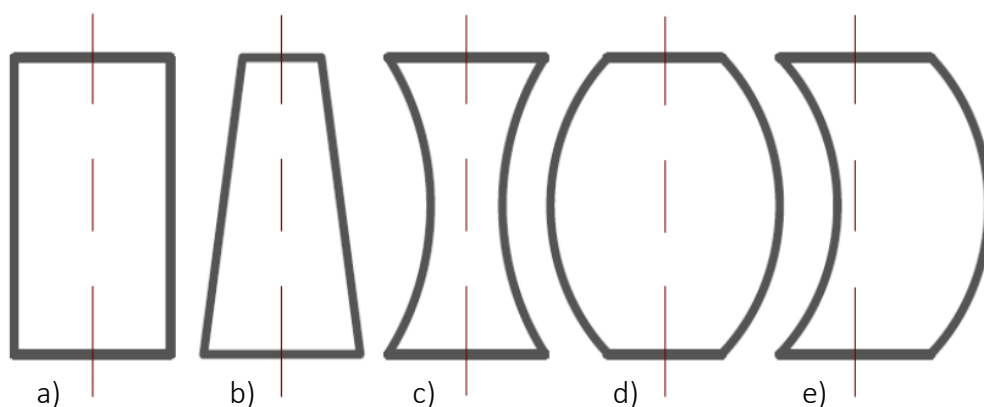
Na Obr. 7 je za a) ideální výsledek po broušení, b) zbroušení šikmo dovnitř do středu pružiny a za c) zbroušení šikmo ven od středu pružiny. [8]



Obr. 7 Možné vady zbroušení krouceného drátu [8]

2.4.3 Vady válcovitosti pružin

Mezi vady válcovitosti pružin patří viz. Obr. 8: b) kuželovitost, c) soudkovitost konvexní, d) soudkovitost konkávní e) vyosení. Vady mohou být osově souměrné nebo také nesouměrné. Příklad a) představuje ideální tvar [8]



Obr. 8 Možné vady válcovitosti šroubové pružiny [8]

2.5 Materiály používané pro výrobu

Na pružinové materiály jsou kladeny vysoké nároky, jelikož pružiny jsou namáhány střídavým zatížením a požaduje se vysoká pevnost na mezi kluzu a mezi únavy. Zároveň musí oceli splnit požadavek na houževnatost, zejména kvůli provozním podmínkám, kdy jsou dynamicky zatěžovány. Tyto nároky lze splnit buď tepelným zpracováním nebo tvářením za studena. [9]

2.5.1 Nelegované ušlechtilé oceli

Tyto oceli se používají pro méně namáhané pružiny za normálních teplot, protože mají nízkou prokalitelnost a nízké mechanické vlastnosti. Jsou to oceli třídy 12 xxx, u kterých je méně vměstků díky vhodné technologii tavení. Dráty jsou nejčastěji patentovány a taženy za studena. U větších průřezů lze vylepšit vlastnosti zušlechtním. Obsah uhlíku v oceli je dán namáháním pružiny. [9]

2.5.2 Legované pružinové oceli

Tyto oceli se používají pro pružiny větších průřezů, které jsou zejména legované – manganové, křemíkové, chromkřemíkové, mangankřemíkové, manganchromové a chromvanadové.

Oceli manganové mají vysokou prokalitelnost a vyšší hodnoty meze kluzu. Křemík zvyšuje mez kluzu a odolnost proti popouštění, ale zvyšuje sklon k oduhličení, a proto se používá u ocelí, které se zušlechťují pro zlepšení pevnosti. Křemík také při tváření za tepla tvoří křemičitany, což zhoršuje výslednou kvalitu povrchu vývalků. Obsah manganu se řádově pohybuje v rozmezí 0,9 – 1,2 % a obsah křemíku v rozmezí 1,5 – 1,9 %. Používají se například pružinové oceli 13 180, 13 251 nebo 13 270 pro listové pružiny.

Dále lze legovat chromem, který zvyšuje prokalitelnost a odolnost proti popouštění. Kombinuje se s manganem (14 160 a 14 262) nebo křemíkem (14 182 a 14260). Přidáním vanadu do manganchromové oceli vzniká ocel 15 230, kterou lze nitrídat pro zvýšení odolnosti proti opotřebení a zvýšení meze únavy. Pro nejnamáhanější pružiny se používají oceli 65V a 53CrV. Pro tažení za studena lze také použít austenitickou ocel 17 242 s obsahem uhlíku v rozmezí 0,15 – 0,25 % a obsahem niklu minimálně 10 %. [9]

2.5.3 Používané oceli

Obvykle se používají oceli 51CrV4 (15 260, 1.8159) nebo 52CrMoV4. Pružinová ocel 15 260 je vysoce pevná, kalitelná vhodná pro zušlechťování. Je odolná proti kroucení a ohybu. Na základě kombinace vysoké pevnosti a dobré houževnatosti je tato ocel ideální pro použití v náročných aplikacích, například pro pružiny navíjené za tepla s průměrem drátu v rozmezí 15–55 mm. Tento materiál získává své vlastnosti tepelným zušlechtním, a to kalením a popuštěním. U těchto operací je ovšem nutné přesné dodržení teplotních křivek, což je

zásadní pro výslednou kvalitu výrobku. Proto je důležitá pečlivá technologická příprava před započítím výroby. [10], [11]

Pružinová ocel 52CrMoV4 je vhodná pro kalení v oleji, ale zároveň je tvárná. Používá se na výrobu všech pružin v automobilovém průmyslu (pružiny tlumičů a ventilů) s vysokými požadavky na pevnost. Pevnost a kalitelnost oceli není zvýšena jen chromem a vanadem jako v případě 51CrV4, ale také molybdenem, který zpevňuje ocel během tepelného zpracování. Zatímco chrom a vanad tvoří karbidy, které zlepšují tvrdost materiálu během popouštění. [12]

2.6 Tepelné zpracování pružin

Při výrobě pružin je kladen vysoký důraz na vysokou pevnost, houževnatost, tvarovou stálost a životnost. Pro získání těchto vlastností se pružinové oceli dodatečně tepelně zpracovávají nejčastěji kalením a popouštěním.

2.6.1 Patentování

Při patentování se ocelové dráty vyrábí tažením. Ocel se protahuje průvlakem daného průměru, a při tomto ději se zpevňuje vlivem plastické deformace. Pro pružiny s nízkým obsahem uhlíku se zpevnění odstraňuje žíháním, které probíhá mezi jednotlivými tahy. U ocelí s vyšším obsahem uhlíku se užívá izotermického kalení za vzniku bainitu. Jedná se například o ocel 12 081. Oceli zpracované tímto způsobem nazýváme patentované oceli, které mají vysokou pevnost a zároveň i houževnatost, která je důležitá pro výrobu a použití pružin. [9]

2.6.2 Zušlechťování

Zušlechťování znamená kalení následované vysokoteplotním popouštěním, které se používá u legovaných ocelí jako například 13 251. Jedná se o izotermické kalení do oleje, kdy jsou teploty v rozmezí 840 – 880 °C a následného popouštění při teplotách v rozmezí 570 – 680 °C. [9]

Během kalení dochází k rozpadu austenitu a výsledné struktury jsou ovlivněny rychlostí ochlazování. Pokud se ochlazuje nižší rychlostí, vzniká perlit, což je lamelární směs feritu a cementitu. Jeho vznik ovlivňuje difuze uhlíku a legujících prvků. Pokud se ochlazuje vyšší rychlostí, vzniká bainit a nelaminární směs perlitu a cementitu. Při vyšších teplotách vzniká horní

bainit, který je svojí strukturou podobný perlitu. Naopak při nižších teplotách vzniká dolní bainit, který se svou strukturou blíží martenzitu. Část austenitu se nerozpadá a ve struktuře zůstává ve formě zbytkového austenitu. Pokud rychlost ochlazování překročí kritickou mez, dojde k přeměně na martenzit, který vzniká bezdifúzním procesem. Tento proces je provázen deformacemi mřížky, které způsobují vnitřní pnutí. Toto pnutí lze odstranit popouštěním.



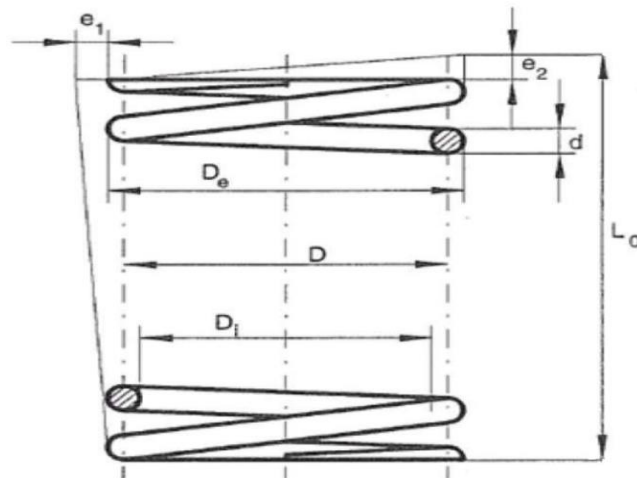
Obr. 9 Kalení velké pružiny [13]

Během popouštění se ocel zahřívá na popouštěcí teplotu po určitý čas. Tímto procesem se pomocí difuze z martenzitu vylučuje uhlík a dochází k přeměně na cementit a zbytkový austenit, který se transformuje na bainit. Při popouštění se zvyšuje houževnatost a klesá tvrdost oceli. Je nutno zvolit vhodnou popouštěcí teplotu a dobu popouštění, aby bylo docíleno vhodné kombinace vlastností. Nežádoucí jev, který může nastat, je popouštěcí křehkost, která vzniká precipitací karbidů a příměsí na hranicích zrn. [9]

2.7 Výroba pružin

Výrobu šroubových pružin lze rozdělit do dvou skupin, a to na tváření za tepla a za studena. Tváření za studena se používá zejména pro navíjení pružin s menším průměrem, přibližně do 15 mm. Lze navíjet i pružiny větších průměrů, pokud to výrobní stroj umožňuje. Celý technologický proces je: tváření pružiny, tepelné zpracování, opracování konců pružin (broušením), povrchová úprava a na závěr ověření mechanických vlastností.

Při výrobě pružin téměř vždy vznikají během technologického procesu vady. Základními tvarovými odchylkami je rovnoběžnost dosedacích ploch (e_2) a jejich kolmost k ose pružiny (e_1). Jedná se o odchylky znázorněné na Obr. 10.



Obr. 10 Okóvaný výkres pružiny [14]

2.7.1 Navíjení pružin za studena

Při navíjení pružin s malým průřezem je polotovar (drát) navinutý na cívkách. Prvním krokem je rovnání drátu na válcovací stolici, kde prochází sadou kladek, které jsou uspořádány jak ve vertikálním, tak i horizontálním směru. Válcovací kladky mají spirálové vybrání ve tvaru budoucí pružiny.

Po narovnání drát vstupuje buď do poloautomatických nebo plně automatických CNC navíječek, které v některých případech kromě navíjení umožňují i ohýbaní drátu. Standartně tyto stroje dokážou drát ustříhnout. Jedná se o universální stroje, které dokážou vyrábět různé druhy pružin například tlačné pružiny, tažné pružiny, a také torzní pružiny. Ovšem tyto stroje nedokážou pokrýt rozsahy průměrů drátů. Například pro pokrytí rozsahu průřezů 0,5 – 15 mm pružin je potřeba mít navíječek hned několik. Stroje pracují s menšími rozsahy, které jsou realizovány operátorem úpravou stroje, nebo například výměnou nástrojů. Navíječky lze rozdělit do dvou skupin na jednobodové a dvoubodové. [15]



Obr. 11 Válečková rovnačka drátu [16]

Jednobodové navíječky pružin

Hlavní výhodou jednobodových navíječek je rozhodně jejich vysoká universálnost. Používají kazetové nástroje, které obsluhuje usnadní jednoduchou a rychlou úpravu stroje při přechodu na výrobu jiného druhu pružin, a tak tyto stroje mohou obsluhovat i méně zkušení operátoři. U jednobodových navíječek do procesu seřizování vstupuje méně proměnných, a díky tomu lze zkrátit celkovou dobu zaškolení nových operátorů. [15]



Obr. 12 Jednobodová navíječka pružin [15]

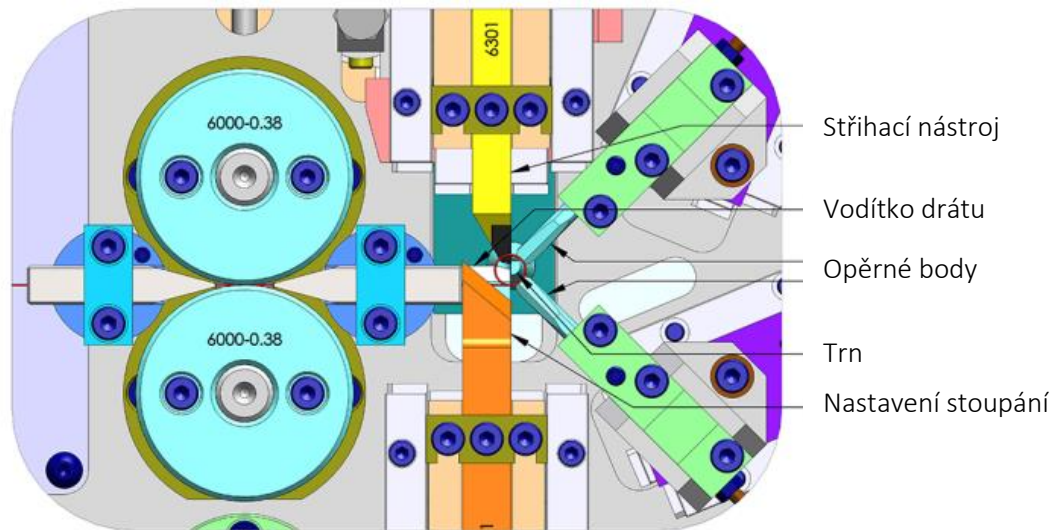
Dvoubodové navíječky pružin

Toto navíjení je vhodné pro výrobu tlačných pružin. Přidáním dalšího kontaktního bodu při navíjení se snižuje tření, a tím lze docílit hladšího povrchu uvnitř pružiny. Tímto opatřením lze zvýšit jejich životnost, pokud jsou velmi zatěžované. Tyto stroje jsou oproti jednobodovým sice složitější, a také obtížněji seřizovatelné. Na druhou stranu lze seřadit přesněji. Přidáním druhého opěrného bodu se rovněž snižuje opotřebení ostatních nástrojů v systému. Další výhodou přidaného opěrného bodu je, že není potřeba použití přesně tvarovaného navíjecího trnu. U jednobodového navíjení je trn velmi důležitým nástrojem, který musí být pečlivě přizpůsoben každému typu pružiny. [15]

Porovnání jednobodového a dvoubodového navíjení

Navzdory rozdílům těchto technologií jsou obě schopny produkovat kompresní pružiny stejné kvality. Namáhání v pružinách vyrobených oběma typy navíječek je stejné. Po navíutí v pružinách zůstává stejné zbytkové napětí. Dle technického konzultanta společnosti SMI

Dana Sebastiana není žádný rozdíl mezi jednobodovým nebo dvoubodovým navíječem co se týče životnosti pružiny. Nejvíce záleží na zkušenostech a dovednostech operátora. [15]



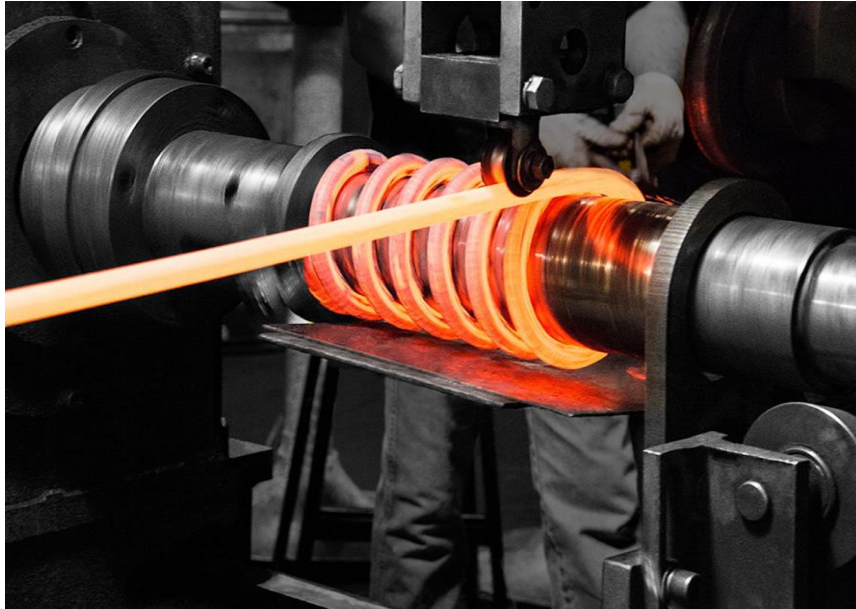
Obr. 13 Dvoubodová navíječka pružin [15]

2.7.2 Navíjení pružin za tepla

Při navíjení pružin za tepla se polotovár pružiny zahřeje na teploty, které se mohou pohybovat v rozmezí přibližně 800–1300 °C. Ovšem při návrhu tvářecí teploty v technologickém postupu je nutné si uvědomit, že materiály používané pro tlačné pružiny navíjené za tepla jsou náchylné na zhrubnutí zrna. Z tohoto důvodu je nejvhodnější se držet v pásmu tolerancí dolních tvářecích teplot, udržovat součást na tvářecí teplotě co možná nejkratší dobu a po tvářecí operaci rychle ochladit, což může být provedeno kalením. Tímto postupem bude docíleno toho, že zrno ve struktuře nezhrubne. Samozřejmě s vyššími teplotami klesá přetvárný odpor a odpružení, což může být někdy výhodné například z hlediska namáhání stroje.

Polotovár může být dlouhý i několik metrů, a proto je vhodné pro ohřev použít průchozí pec, případně pec krokovou, štěrbínovou nebo komorovou. U pecí průchozích celou dobu s polotovarem pohybují dopravníky nebo manipulátory, které ho musí z pece přivést k navíjecím strojům, na kterých proběhne navinutí. V zásadě jsou dvě možnosti navíjení. Prvním způsobem je připevnění jednoho konce polotovaru k otočnému trnu stroje. Po započetí pracovního pohybu je navíjený drát veden a přidržován pohyblivou válcovou kladkou. U druhého způsobu se opět ohřátý polotovár připevní na otočný trn stroje, který se vysunuje při procesu navíjení ze vřetena stroje, a tím je určeno stoupání pružiny. Polotovár je na vstupu k navíjecímu trnu veden nepohyblivou kladkou.

Následuje tepelné zpracování, o kterém je pojednáno v kapitole 1.6. Navíjení za tepla se používá zejména u polotovarů větších průměru přibližně od 15 mm. Na konci procesu výroby pružin je opracování závěrných závitů, viz. 1.3.3, dále povrchové úpravy a kontrola jakosti. [17]



Obr. 14 Navíjení pružiny pomocí posuvné rolny [18]



Obr. 15 Pružina navinutá za tepla [11]

2.8 Problematika tváření

Tváření kovů je technologický proces, při kterém působíme vnějšími silami na polotovar tak, aby došlo k požadované změně jeho tvaru, případně mechanických vlastností. Pokud se má tvářecí proces uskutečnit, musí dojít k překročení meze kluzu tvářeného materiálu, a tím nastanou plastické deformace. Tato technologie má mnoho výhod jako například: vysoká produktivita práce, vysoká rozměrová přesnost, zpevňování materiálu. Nevýhodou poté jsou vysoké pořizovací náklady strojů a nástrojů. [19]

2.8.1 Faktory ovlivňující tvářecí proces

Tvářecí proces ovlivňuje mnoho faktorů, mezi které patří materiálové vlastnosti, technologické vlastnosti a kinematika procesu. Nejvíce je tvářecí proces ovlivněn teplotou, při které tváření probíhá. Tváření lze z hlediska teploty rozdělit na tři skupiny: tváření za studena, poloohřevu a tepla. U tváření za studena dochází k velkému zpevnění vlivem plastické deformace. Nevýhodou je vysoký přetvárný odpor, kvůli kterému jsou kladeny vysoké požadavky na stroje, a především na nástroje, protože jsou vystaveny vysokému mechanickému zatížení. U tváření za tepla také probíhá plastická deformace, ale zde je doprovázena zotavováním a rekrytalizací, která způsobuje odpevňování tvářeného materiálu. Poměr zpevňování k odpevňování rozhoduje, zda ke zpevnění dojde nebo nedojde. U tváření za tepla je výhodou snížení přetvárného odporu. Nevýhodou je náchylnost k hrubnutí zrna a tvorba oxidů na povrchu součásti, které se tvoří vlivem působení atmosférického kyslíku. Tvorba okujů způsobuje ztrátu materiálu tzv. opal, který může být přibližně 1-3 %. Okuje nesmí být při tváření zakovány do materiálu, a proto se musí před tváření odstranit.

Zpevnění je způsobeno deformacemi zrn a poruchami krystalické mřížky. S vyšším zpevněním stoupá přetvárný odpor materiálu a snižuje se tvářitelnost (schopnost měnit tvar bez porušení). Pro obnovení tvářitelnosti se materiál žihá, čímž dojde k zotavení a rekrytalizaci. Zotavení odstraní poruchy krystalické mřížky, a při rekrytalizaci vznikají nová nedeformovaná zrna.

Tvářecí proces také ovlivňuje velikost a rychlost deformace. Vysoká rychlost deformace při tváření může způsobit zvýšení aktuální teploty kovu, pomocí transformace deformační práce na teplo, a to může způsobit snížení tvářitelnosti a zvýšení přetvárného odporu. Při tváření za tepla lze dosáhnout velkých stupňů deformace, jelikož si materiál zachovává své plastické vlastnosti. Dále je tváření ovlivněno způsobem deformace, která může být objemová, kde nastává deformace ve všech směrech (například zápusťkové kování) nebo tváření plošné, kde nastává deformace ve dvou osách (například tváření plechů). [19]

2.8.2 Tvářitelnost

Jedná se o vlastnost materiálu, který mění tvar vlivem plastické deformace bez vzniku makroskopických porušení. Tvářitelnost ovlivňují faktory metalurgické, mechanické a technologické. Pro určení tvářitelnosti se používá tahová zkouška, pēchovací zkouška, zkouška ohybem, zkouška krutem nebo lze použít zkoušky technologické. Materiál s dobrými plastickými vlastnostmi, který mění svůj tvar při přijatelných tvářecích silách, lze označit za dobře tvářitelný.

Na tvářitelnost má vliv:

a) Metalurgické faktory

- Krystalická struktura – nejlepší tvářitelnost mají FCC mřížky, následují BCC mřížky a nejnižší tvářitelnost je u šesterečné těsně uspořádané mřížky
- Chemické složení a čistota materiálu – legováním se vliv krystalické struktury snižuje
- Velikost a rovnoměrnost zrna – jemnozrnné materiály mají vždy lepší tvářitelnost
- Počet fází – jednofázové slitiny jsou dobře tvářitelné, u dvoufázových musí být druhá fáze rozpuštěna

b) Mechanické faktory

- Rychlost a velikost deformace – vyšší rychlost deformace vždy snižuje tvářitelnost u vícefázových a hrubozrnných kovů a slitin
- Stav napjatosti – s podílem tahových složek napětí se zvyšuje náchylnost materiálu ke křehkému lomu

c) Technologické faktory

- Rozmezí tvářecích teplot – vychýlením se mimo hranice hrozí nadměrná oxidace, možnost vzniku trhlin, hrubnutí zrna
- Tvářecí stroj – tuhost, doba tváření, rychlost nástroje, doba silového zdvihu
- Způsob ohřevu materiálu – druh pece a pecní atmosféry, rychlost a metoda ohřevu
- Používání nástrojů – mazání nástrojů, vznik okují, přehřev a ohřev nástrojů

3. Návrh technologie tváření

Tato kapitola bude věnována návrhu technologické úpravy konců polotovarů pro výrobu pružin. Z hlediska tvaru odpovídá konec tyče určitému tvaru v podobě klínu. Tento klín bude následně podroben ověření vyrobitelnosti pomocí numerické simulace. Dále bude navržen tvářecí postup pro výrobu modelového příkladu klínu včetně návrhu pracovních nástrojů.

3.1 Návrh polotovaru výkovku

Při návrhu technologie je nutné nejprve určit velikost výchozího polotovaru. Ten je ovlivněn finálním tvarem součásti a dalšími faktory. Výkovky jsou vyráběny v přesnosti obvyklé, přesné a velmi přesné. Požadavek přesnosti ovlivní velikost polotovaru, neboť má vliv volba přídavků, výronkové drážky, tolerance rozměrů, druh tvářecího stroje, minimální tloušťky stěny a dna blány. Dále jsou tyto parametry, také ovlivněny rozměry výkovku. Pokud jsou všechny parametry určeny, lze stanovit hmotnost, tvar a rozměry výchozího polotovaru. Poté se navrhne způsob dělení, volba tvářecí teploty, způsob a doba ohřevu. V posledním kroku je navržen postup tváření v tabulkové formě.

3.1.1 Volba tvářecího stroje

Zvolení tvářecího stroje je důležité zejména, jelikož jeho volba může ovlivnit tvar výkovku a technologický postup. Volba tvářecího stroje je ovlivněna zejména tvarem, hmotností, přesností a materiálem výkovku. Dalším významným faktorem je sériovost výroby, možnost mechanizace a automatizace.

3.1.2 Volba přídavků

Volbu přídavků na obrábění určuje například norma ČSN 42 9030. Vychází se z přesnosti provedení výkovků. Čím je přesnost vyšší, tím jsou přídavky na obrábění menší. Dále velikost přídavků ovlivňuje tvářitelnost materiálů. Čím má materiál horší tvářitelnost (vyšší procento uhlíku / legujících prvků), tím větší se volí přídavky. Na velikost přídavků má vliv největší rozměr hotové součásti ve směru kolmo rázu a podle největší výšky součásti tj. ve směru rázu. U nerotačních součástí je největší rozměr součásti ve směru kolmo k rázu definován jako střední hodnota součtu největší šířky a délky součásti.

3.1.3 Volba vnitřní blány

Pokud je ve výkovku otvor, který má větší rozměr, než je minimální tloušťka stěny dna a blány, tak bude předkován. Poloha blány je nejčastěji ve středu výšky otvoru, ovšem pokud je poloha blány umístěna ve stejné rovině, jako rovina dělicí je doporučeno, aby rovina blány byla přesazena směrem dolů. Tloušťka blány musí být větší, než je doporučená nejmenší tloušťka dle ČSN 42 9030. Tato hodnota je závislá na maximálním průměru součásti (rotační součást), anebo největší šířce výkovku (podlouhlá součást).

3.1.4 Volba úkosů

Úkosy složí k snadnému vyjímání součástí z dutiny zápustky. Volba úkosů je závislá na zvoleném tvářecím stroji. Pro obvyklé tvářecí stroje se úkosy pohybují v rozmezí 3° – 7° . Na bucharech se volí úkosy větší, protože vyjímání výkovků z dutiny zápustky je obtížné. Naopak na kovacíh lisech lze volit úkosy menší, jelikož jsou vybaveny vyhazovačem. Úkosy lze rozdělit do dvou skupin podle toho, kde se na výkovku nachází, na vnitřní a vnější. Vnitřní úkosy jsou ty, které při zchlazení součást přitlačují k dutině zápustky. Naopak u vnějších úkosů vzniká při zchlazení vůle mezi povrchem součásti a dutinou zápustky. Proto se u vnitřních volí větší hodnoty úkosů.

3.1.5 Volba poloměru zaoblení

Poloměry zaoblení zvyšují odolnost nástrojů proti mechanickému namáhání, jelikož redukují napětí v oblasti přechodů, a rovněž usměrňují tok materiálů do dutiny a její plnění. Poloměry zaoblení způsobí menší namáhání nástrojů, a tím zvýší jejich životnost. Malé hodnoty poloměrů přechodů mohou způsobit vznik přeložek. Zároveň způsobují větší opotřebení hran zápustek. Minimální hodnoty jsou udávány v závislosti na kovaném materiálu, na typu kovacího stroje, na hloubce dutiny a na poměru výšce vůči šířce výkovku.

3.1.6 Volba výronkové drážky

Jedná se o mezeru v dělicí rovině mezi dolní a horní částí zápustky, do které odchází přebytečný materiál. Tento materiál slouží jako rezerva pro úplné zaplnění dutiny zápustky, kdy po jejím zaplnění tento materiál odchází do výronkové drážky. Na bucharech se používá uzavřené výronkové drážky, zatímco na lisech je výronková drážka otevřená. Základní údaje o výronkových drážkách jsou uvedeny v ČSN 22 8306 až ČSN 22 8309.

3.1.7 Stanovení tvaru, hmotnosti a rozměrů polotovaru

Polotovary jsou obvykle tyčového charakteru, bývají obvykle vyrobeny válcováním, tažením, případně protlačováním. Z hlediska průřezu se používají kruhové, nebo například sochory. Hmotnost materiálu, který je obsažen ve výrobku, lze určit výpočtem na základě poměru hmotnosti polotovaru a výkovku. Tento poměr roste s rostoucí tvarovou složitostí, a zároveň klesá s rostoucí hmotností výkovku. Závisí na tvarové skupině. Dále se z hmotnosti polotovaru vypočte jeho objem, ze kterého se stanoví rozměry polotovaru. Pro určení průřezu se vypočte průměr dle vztahů pro rotační nebo podlouhlý výkovek, a následně se určí délka ústřížku.

3.1.8 Metody dělení

Materiál se nejčastěji stříhá na strojních nůžkách (bezodpadový způsob) nebo je možné řezání na strojních pilách. Velikost potřebné síly při stříhání je dána jakostí materiálu, charakteristickým průřezovým rozměrem polotovaru a teplotou, při které probíhá stříhání. Obvykle se stříhá až do průměru 210 mm. Polotovary se dělí na požadovanou délku, ovšem kontrola se provádí zjištěním hmotnosti polotovaru. Obvyklá tolerance je 2–3 % od požadované hmotnosti polotovaru.

3.1.9 Volba tvářecích teplot, metoda a doba ohřevu

Volba tvářecích teplot závisí na druhu ohřívajícího materiálu a jeho stavu. Tvářecí teploty se pohybují v intervalu horních a dolních tvářecích teplot. Určení správné teploty má především význam u ocelí s větším množstvím příměsí.

Metoda ohřevu závisí především na sériovosti výroby, požadované přesnosti výroby a velikosti polotovaru. Pokud je definována i metoda ohřevu, lze stanovit dobu ohřevu a velikost opalu, který je u indukčního ohřevu 0,5 % a u komorových pecí 1–3 %.

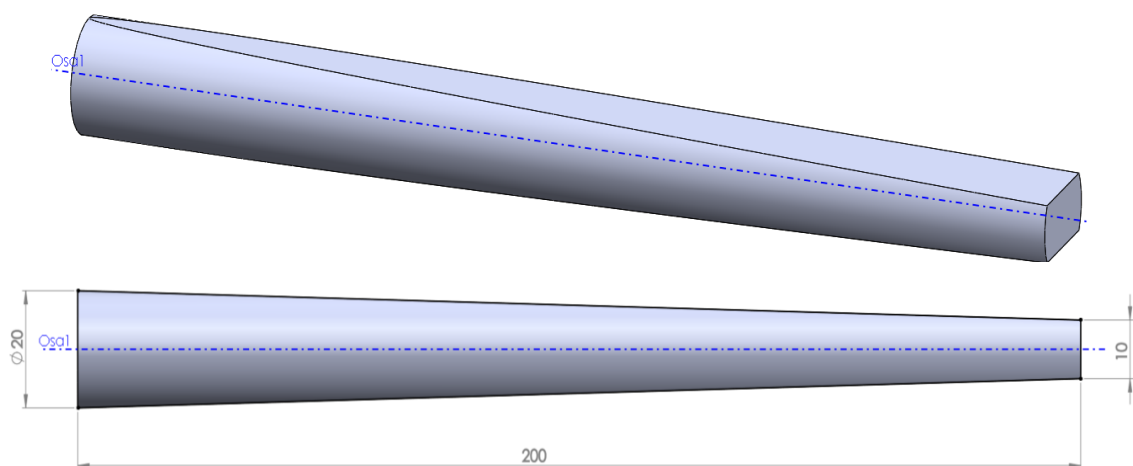
Ohřev by měl být co nejrychlejší, ale nesmí být překročena mezní rychlost ohřevu, aby nevzniklo příliš velké teplotní pole, které by způsobilo vnitřní pnutí v materiálu.

3.2 Rozbor navrženého tvaru konce

Při standardní výrobě závěrného závitu pružiny vzniká tento závit broušením dosedacích ploch. Vzniklý závěrný závit po rozvinutí odpovídá tvaru klínu, jako např. na Obr. 26 při pohledu v podélném řezu. Na stoupání klínu má vliv střední průměr pružiny D , průměr drátu a stoupání šroubovice závěrného závitu.

Tato práce popisuje problematiku na modelové variantě, která může reprezentovat reálný závěrný závit pružiny. Je zvolen polotovár kruhového průřezu o průměru 20 mm s délkou klínu 200 mm a tloušťkou klínu 10 mm na volném konci. Dle tohoto zadání odpovídá stoupání klínu 1:20. Nutno podotknout, že proti závěrnému závitů vzniklému broušením, bude uvažována modelová varianta s klínem, který bude zkosený rovnoměrně z obou stran. (Obr. 16)

V praxi lze narazit na mnoho případů různých konců pružin, které jsou definovány průměrem polotovaru, středním průměrem pružiny a délkou klínu. Konec klínu musí mít stanovenou minimální hodnotu tloušťky na volném konci, viz. Obr. 16. Při geometrickém rozboru bylo zjištěno, že u většiny pružin bude úhel klínu odpovídat rozmezí 1° až 3°. Toto zjištění je pro tuto práci klíčové, protože dovoluje pro široké spektrum klínů různých konfigurací pružin vytvořit relativně malé množství nástrojů, kterými bude možné je opracovat. Z důvodů pořizovacích nákladů na nástroje nelze pro každou konfiguraci klínu mít konkrétní nástroje. Hodnoty úhlů klínu jsou tedy rozptýleny v rozmezí cca 3°. Pokud je požadavkem upravovat konce polotovarů relativně nízkým počtem nástrojů, je potřeba někde udělat kompromis. Tím kompromisem je myšlena odchylka tvaru klínu od požadovaného rozměru, kterou lze po navinutí pružiny zkorigovat brousícími operacemi.



Obr. 16 Navržený konec pro výpočet délky polotovaru

Na Obr. 16 je vidět navržený konec pro modelovou variantu uvedenou v této práci. Jak je vidět, klín je vytvořen pomocí prvků odebrání vysunutím na kruhové tyči pomocí dvou vytvořených rovin, které mezi sebou svírají úhel 2,86°, který odpovídá stoupání 1:20. Výpočet stoupání se vypočte následným způsobem $\sin^{-1}\left(\frac{1}{20}\right) = 2,86^\circ$. Pro vytvoření modelu, který je

stěžejní pro určení délky polotovaru před tvářecí operací, je tedy nutné znát stoupání a průměr polotovaru (d).

Z vytvořeného modelu je zjištěn objem klínu, ze kterého se patřičným výpočet podle zákona o zachování objemu vypočte délka potřebného polotovaru. Tento model byl vytvořen v CAD programu Solidworks 2016.

Objem vymodelovaného klínu $V_1 = 52\,783 \text{ mm}^3$. Nyní lze aplikovat zákon o zachování objemu a vypočítat délku polotovaru L_2 .

$$V_1 = V_2$$

$$V_1 = \frac{1}{4} * \pi * d^2 * L_2$$

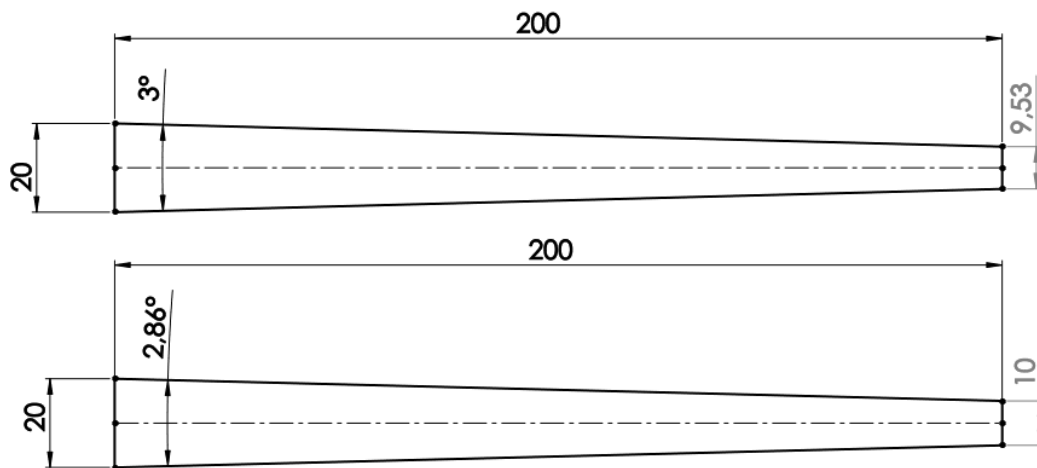
$$L_2 = \frac{V_1 * 4}{\pi * d^2} = \frac{52\,783 * 4}{\pi * 20^2} = 168,01 \text{ mm} = 16,8 \text{ cm}$$

Nutno podotknout, že takto navržený klín má zaoblené strany, což bude realitě odpovídat jen částečně, takže je počítáno s určitou mírnou odchylkou od reality, ovšem tato data budou složit jak vstup do simulačního softwaru, takže to lze zanedbat. Tuto odchylku jen těžko v klasickém CAD programu namodelovat, jelikož při tváření klínu se část materiálu vytlačí do stran. Tento vytlačený materiál bude muset být po první tvářecí operaci opět usměrněn do správného plochého tvaru druhou operací. Z čehož plyne, že se předběžně budou konce pružin tvářet na více operací.

3.2.1 Vliv úhlu klínu na výsledné rozměry konce

Jak vyplynulo z předcházející kapitoly, lze různé klíny s odlišným stoupáním přidružit k relativně malému množství nástrojů, pro pokrytí rozsahů stoupání 1° až 3° . Tato úvaha pro použití relativně malého množství nástrojů pro výrobu klínu je založena na tom, že se vyrobí klín s jistými tvarovými odchylkami. Jedná se především o odchylku tloušťky klínu na volném konci. Pro vysvětlení je uvažován nástroj (vačka), který bude vyrábět klín s úhlem 3° . Je uvažována modelová varianta viz. výše, tedy polotovar o průměru 20 mm s délkou 200 mm a výškou volného konce tyče 10 mm. Pokud se bude upravovat tento konec tyče, který má stoupání klínu $2,86^\circ$, nástrojem uvedeným výše, bude odchylka tloušťky na volném konci pouze o 0,47 mm větší, což je odchylka, kterou bude možno po navinutí pružiny zkorigovat broušením. Odchylka je znázorněna na Obr. 17 a její velikost je 0,47 mm.

Také může nastat opačný stav, kdy bude úhel vyráběného klínu větší, než úhel nástroje, a poté bude tloušťka na volném konci menší než požadovaná. Řešení tohoto problému spočívá ve výsledné velikosti odchylky. Pokud odchylka rozměru bude v toleranci lze tento nástroj použít. Pokud bude odchylka větší, než tolerance je potřeba použít nástroj s větším úhlem. Nevýhodou může být vznik větších přídavek na broušení.



Obr. 17 Ukázka odchylky klínu při změně stoupání klínu

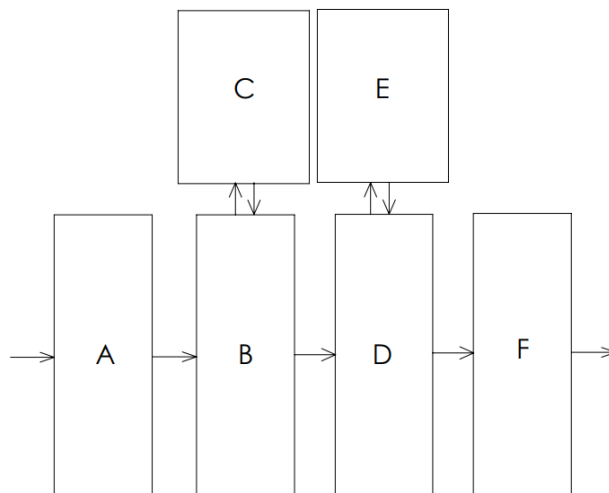
3.3 Návrh tvářecího postupu

Při navrhování technologického procesu výroby konců pružin se musí zohlednit hned několik aspektů, nad kterými je nutno se před vlastním navrhováním důkladně zamyslet. Zejména se jedná o manipulaci, ohřev a vlastní technologii tváření.

3.3.1 Manipulace s materiálem

Uvažujme rozměry polotovaru dle [11], tedy průměry v rozmezí 15-55 mm a rozvinuté délky v rozmezí 1000–8500 mm. Z toho vyplývá, že pružiny mohou mít velké rozpětí hmotností řádově jednotky až desítky kilogramů. Ovšem problémem je manipulace s velmi dlouhými tyčemi, i když nebudou zrovna těžké. Zároveň je potřeba, aby konec tyče byl ohřát a relativně rychle přesunut k tvářecímu stroji se zabezpečením patřičné bezpečnosti. Ohřev a tvářecí stroj by měli být blízko sebe, aby při manipulaci s materiálem nedocházelo k velkému ochlazení, kvůli kterému by poté mohla být teplota již na začátku tvářecího procesu příliš nízká. Pro manipulaci s dlouhými tyčemi přichází v úvahu použití dopravníků, jeřábu, případně ruční manipulace, která má ale nevýhodu v hygienických limitech, kdy bude relativně brzy vyčerpána kapacita obsluhy.

Na Obr. 18 je znázorněn jeden z možných návrhů manipulace s materiálem. Tyče by se mohly dávkovat do zásobníku A. Z tohoto zásobníku by se tyče postupně dávkovali na dopravník B, který by umožňoval pohyb tyčí směrem do indukční pece a ven z ní a zároveň pokud by byla uvolněna kapacita na dopravníku D, tak i jejich přesun tímto směrem. Dopravník D bude posunovat tyče do stroje pro úpravu konce tyčí E a ven z něj. Po opracování bude tyč z dopravníku přemístěna do zásobníku F. Po vychladnutí by se tyče odebraly jeřábem, otočily a umístily zpět do zásobníku A. Celý proces se bude opakovat pro druhou stranu tyče. Podrobněji je tato problematika rozebrána v kapitole 4.2.



Obr. 18 Předběžný návrh manipulace s materiálem

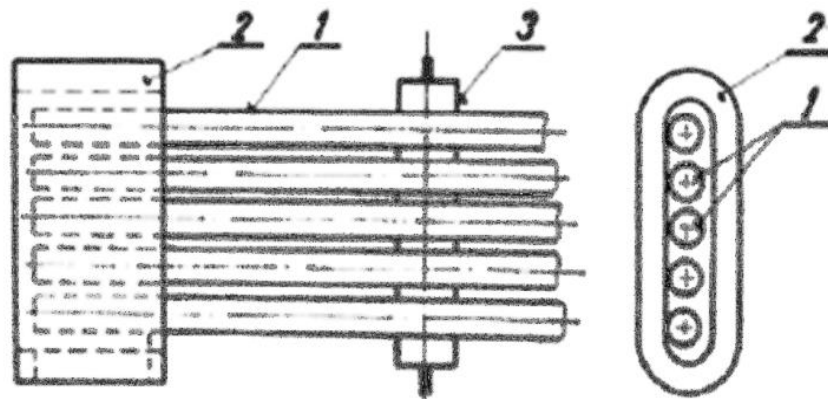
3.3.2 Ohřev materiálu

U ohřevu je potřeba zajistit, aby se tyče ohřívaly přiměřenou rychlostí vůči tvářecímu procesu. Pokud bude rychlost ohřevu rychlejší, než tvářecí proces hrozí, že dojde k zhrubnutí zrna v důsledku dlouhého setrvání na tvářecí teplotě. Pokud naopak bude tvářecí proces rychlejší, než ohřev bude docházet k přerušovanému dávkování do tvářecího stroje. To způsobí nárůst času pro výrobu výrobní dávky, Pro ohřev konců polotovarů je ideálním řešením indukční induktor. Tyto pece dokážou velmi rychle ohřát konec tyče na požadovanou teplotu pomocí vířivých proudů. Nevýhodou těchto zařízení je bezpochyby vysoká pořizovací cena. Samozřejmě záleží na tom, jakým druhem pecí je výroba vybavena. Pokud již disponuje pecí, která umožňuje ohřev konců tyčí, nový indukční ohřev pro ni nemusí mít ekonomický smysl.

Lze uvažovat induktor oválný, který ohřívá několik tyčí najednou. Nevýhodou tohoto induktoru je, že pole vířivých proudů není kolem tyčí symetrické, a proto může docházet k nerovnoměrnému ohřevu. Další nevýhodou je, že tyče budou zahřívány poměrně na dlouhou

dobu, a kvůli tomu je zde riziko zhrubnutí zrna. Proto by bylo přívětivější použít klasických induktorů, které ohřívají polotovary jednotlivě. Ohřev může trvat u malých průměrů přibližně jednu až dvě minuty. Vzhledem k náročnosti tvářecího procesu bude pro výrobu každého konce tyče zapotřebí přibližně třech průchodů. Doba tohoto procesu lze jen odhadovat z důvodů širokého spektra variant klínů tyčí a průměrů polotovaru. Lze předpokládat, že tato doba bude dostatečná, aby kruhový induktor stihl včas ohřát další polotvar. Pokud by tomu tak nebylo, lze použít dva kruhové induktory vedle sebe.

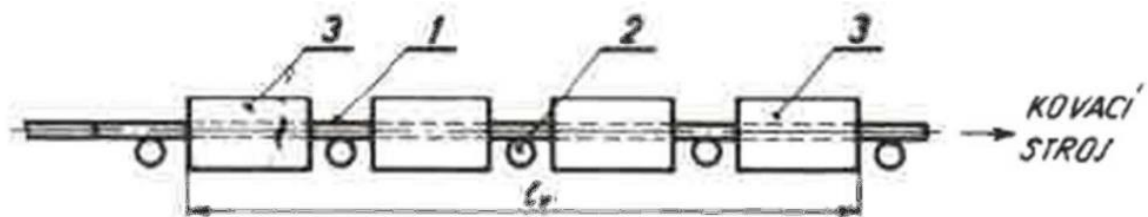
Co se týče ohřevu jako takového, měl by být pozvolný, aby se konec tyče prohřál rovnoměrně a teplota na povrchu byla rovnoměrná s teplotou v jádru. Ohřev probíhá na teplotu o něco vyšší, než je teplota tváření, aby se vykompenzovalo zchladnutí během přemístění do tvářecího stroje.



Obr. 19 Oválný induktor pro indukční ohřev konců tyčí [20]

- 1) Tyče 2) Oválný induktor 3) Držák tyčí

Na Obr. 20 je zobrazen průběžný indukční ohřev, kterým lze ohřívát celou tyč, což lze použít při ohřevu polotovaru s již upravenými konci do tvaru klínu před navíjením pružiny na navíjecím stroji. Pro tento účel lze také použít pec krokovou, kde by byly tyče uspořádány napříč.



Obr. 20 Schéma průběžného indukčního ohřevu tyčí [20]

- 1) Ohřívaná tyč 2) Vodící kladky 3) Induktory

3.3.3 Návrh technologie tváření

Vhodnou technologií pro úpravu konců pružin je technologie tváření. V zásadě se dá využít kování na kovacíh válcích nebo volné kování na bucharu. Klíny na bucharu lze kovat mezi rovnými kovádky s použitím tvarového nástroje. Druhou možností je použití tvarových kovadel, jejichž úhel bude odpovídat přibližně požadovanému úhlu klínu. Výhoda této metody spočívá v tom, že buchar může obsluhovat pouze jedna osoba. Nevýhodou jsou pořizovací náklady na tvarové kovádky.

Volné kování klínu na bucharu

Volné kování na bucharu bylo provedeno ve školních laboratořích, na modelových variantách různých klínů. Pro tuto práci byla zvolena metoda volného kování mezi rovnými kovádky s tvarovým nástrojem, tzv. hladítkem.

Před vlastním kováním byla vypočtena potřebná délka materiálu pro rozkování klínu tak, aby obsluha věděla, jak daleko od volného konce má začít kovat. Při procesu kování bylo zjištěno, že je problém tuto vzdálenost na začátku kování dodržet, a proto je zapotřebí zručného kováře.

Po první části kování klínu se musela tyč otočit a kovat mezi rovnými kovádky, jelikož se část materiálu napěchovala do stran, což je zobrazeno na Obr. 21. Takto se celý proces několikrát opakoval, dokud nebylo dosaženo požadovaného tvaru. Největším problémem byla nízká produktivita práce, kdy kování jednoho konce polotovaru byla otázka cca 12 min. pro polotovary o průměru 40 mm. Během kování byla část tyčí rozkována na větší délku klínu, a poté zaříznuta, což však není dobré řešení hlavně z hlediska výsledného produktu. Druhá část tyčí měla kované konce s rozměrovou odchylkou délky klínu, což lze vidět na Obr. 24. Na čelech tyčí si lze všimnout zajímavých textur, které jsou dány anizotropií materiálu. Ukázka konců tyčí se zaříznutými konci je zobrazena na Obr. 23 a vlastní kování na Obr. 22. Při experimentu kování na bucharu byly tyče ohřívány pomocí plynové pece. Vlastní kování bylo realizováno dvěma pracovníky, kdy jedna osoba ovládá zdvih bucharu, a zároveň pohybuje a

otáčí s tyčí dle potřeby. Druhá osoba manipuluje s nástrojem tak zvaným hladítkem, které umožňuje vykování klínu, jelikož plochy nástroje jsou paralelní jak je vidět na Obr. 21.



Obr. 21 Kování klínu na bucharu pomocí hladítka



Obr. 22 Kování konce pružiny na bucharu

Po vykování celé dávky tyčí bylo vyhodnoceno kování na bucharu jako málo produktivní. a je vhodné spíše pro kusou výrobu. Důležitým faktorem, který také významně ovlivňuje produktivitu práce, je manipulace s tyčemi během procesu tváření. Kování na bucharech je rozhodně výhodné z hlediska malé složitosti kovacích nástrojů, a tím i z hlediska nízkých pořizovacích nákladů. Tento postup by byl vhodný spíše pro malé série s menšími polotovary

nižších hmotností než pro sériovou výrobu, na kterou je tato práce zaměřena. Další nevýhodou je opakovatelnost procesu, která bude vždy závislá na zkušenostech operátora.



Obr. 23 Ukázka zařezaných konců vykovaných na bucharu

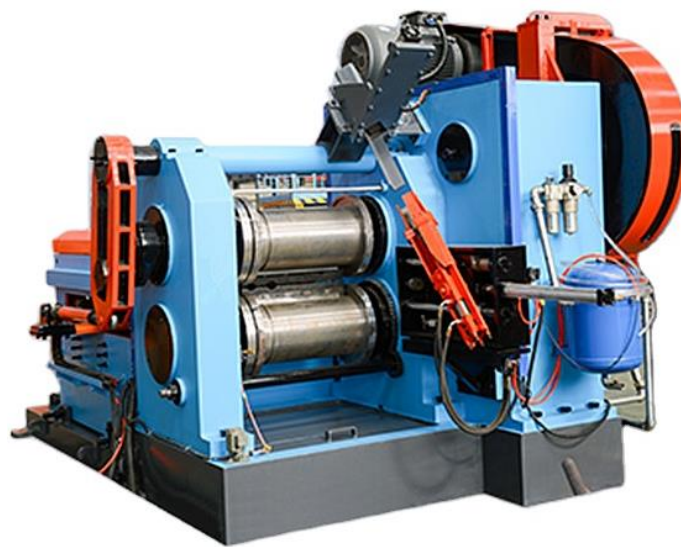


Obr. 24 Ukázka nezařezaných konců vykovaných na bucharu

Kování klínu na kovacích válcích

Odlišnou technologií je kování na kovacích válcích. Kove se pomocí nástrojů, které v podstatě odpovídají konkrétnímu excentru (vačce). Jak již víme z předchozích kapitol, stoupání klínu závěrných závitů pružin se pohybuje v rozmezí přibližně 3° , je možné jej realizovat s relativně malým počtem nástrojů, pokud bude akceptována určitá nepřesnost. Práce s malým množstvím nástrojů je u válcování výhodná zejména kvůli nákladům na výrobu nástrojů, které jsou složité ohledně návrhu, jakosti materiálu, tepelného zpracování a přesného obrábění na CNC strojích. I pořizovací náklady na válcovací stroj jsou relativně vysoké v řádu

stovek tisíc korun. Další výhodou malého počtu nástrojů je minimalizace času na výměnu nástrojů a s tím nutné odstávky ve výrobě. Při sériové výrobě, kdy dokáže úprava konců pružin ušetřit mnoho času a materiálu polotovarů, díky výraznému snížení potřeby broušení konců pružin. Tím dojde ke snížení nákladů na broušení a údržbu brusek. Lze tedy předpokládat, že v dlouhodobém časovém horizontu bude tento návrh mít dobrou návratnost., i když je potřeba dále zajistit další potřeby k tomuto procesu jako manipulátory, ohřev a dopravníky. Výhodou této technologie oproti volnému kování na bucharu, je vyšší produktivita práce, opakovatelnost a relativně jednoduchá automatizace. Tento proces může být plně automatizován, nebo by jej bylo možné realizovat pouze s jedním operátorem.



Obr. 25 Kovací válce Birson [22]

3.4 Návrh nástrojů

Návrh nástrojů vychází ze zvolené technologie, kterou je rotační kování na kovacích válcích. Pro potřeby této práce budou navrženy nástroje vycházející z válcovacího stroje, který je přítomen v dílnách FS, ČVUT v Praze. Volba tohoto stroje je ovlivněna možností praktického ověření provedeného návrhu. Pro toto ověření navržené technologie válcování je uvažována 3 kladková zakružovačka. Kvůli proporcím stroje není možné uvažovat, že by oba nástroje byly poháněny, jelikož tím zařízením nedisponuje, poháněná je pouze 1 kladka. Z tohoto důvodu bylo navrženo, že jedna kladka bude pracovní (poháněná) a druhá kladka bude pomocná (opěrná). Poháněná kladka bude tvarová, která při pracovním pohybu bude tvořit klín na polotovaru. Opěrná kladka se bude volně otáčet kolem své osy a bude mít tvar válce. Slouží především k zapření polotovaru při pracovním pohybu poháněné kladky. Důvodem pro použití mechanismu

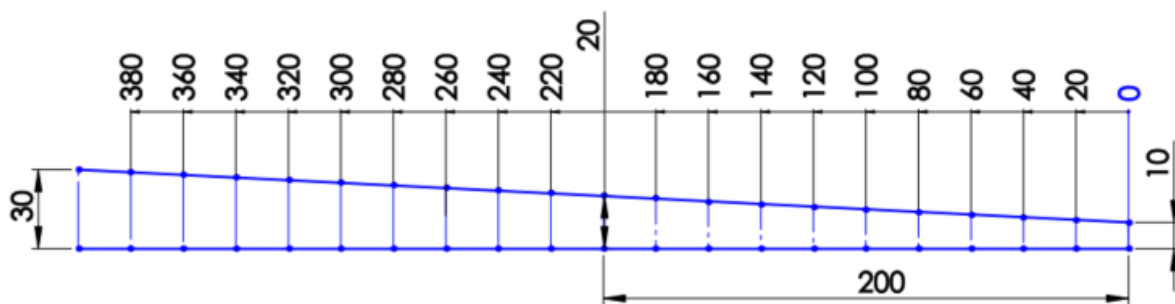
s pouze jednou poháněnou kladkou je ten, že pokud by byly obě kladky tvarové a pouze jedna poháněná mohlo by docházet k prokluzování na té volně se otáčející.

Při návrhu daných, případně v budoucnu podobných nástrojů je na začátku procesu návrhu nástrojů potřeba shromáždit výchozí důležité parametry. Mezi tyto parametry patří osová vzdálenost kovacích válců (dáno charakteristikou stroje), průměr polotovaru, sklon klínu a způsob uchycení nástrojů do stroje.

3.4.1 Popis klínu v CAD

Výchozí parametry klínu pro následný návrh nástrojů :

- Průměr polotovaru 20 mm
- Délka klínu 200 mm
- Sklon klínu 1 : 20
- Osová vzdálenost mezi kovacími válci 180 mm



Obr. 26 Rozvinutý klín pro konstrukci tvarové kladky

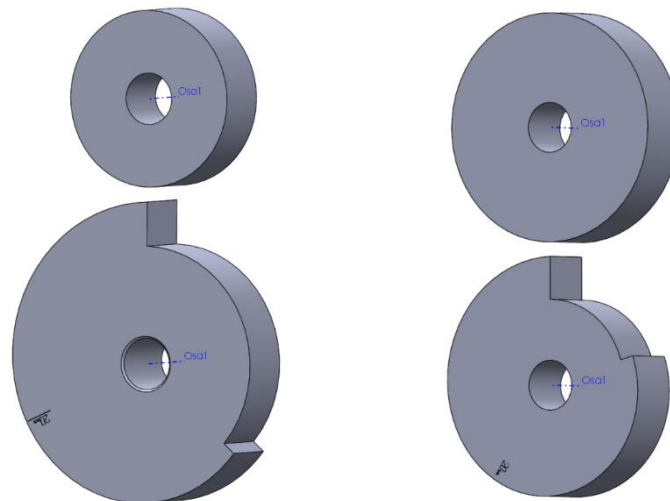
Tvarová kladka je navržena tak, aby dokázala tvářet různé varianty konců. Z tohoto důvodu dojde k záběru až při jejím určitém natočení. Z technologických důvodů je lepší, aby vačka hned nezačínala rovnou místem, ve kterém je v tomto případě mezi oběma nástroji vzdálenost 20 mm. Tato vzdálenost odpovídá bodu pracovního cyklu, od kterého při pracovním pohybu bude polotovar pro tento případ tvářen a dalším pohybem vačky bude docházet k tvarování materiálu. Maximální uvažovaný průměr polotovaru je 30 mm a délka klínu je 400 mm (délka rozvinuté vačky).

Z Obr. 26 je vidět, že délka klínu je rozdělena na mnoho dílků. Rozdělení klínu na ideální počet dílků je klíčové pro jednoduchou konstrukci s dostatečně aproximovaným tvarem. Pokud se klín rozdělí na více dílků, bude tvar vačky lépe proložený a teoreticky lze dosáhnout větší přesnosti, ale zpracování CAD modelu bude více časově náročné. Naopak pokud bude dílků příliš málo, bude se zhoršovat výsledná rozměrová přesnost. S ohledem na výše uvedené bylo

zvoleno rozdělení na 20 dílků po 20 mm. Toto rozdělení se jeví jako optimální, dle zmíněných hledisek. Důvod, proč se klín dělí na několik částí, je zjištění výšky klínu v daném místě podél jeho délky od nuly, kde je výška 10 mm. V zásadě pro tvorbu vačkového mechanismu v tomto případě tyto hodnoty nemusí být číselně vyčísleny, jelikož se v modelu přenesou ze skici klínu do skici vačky pomocí vazby stejná.

3.4.2 Modelování vačky

Díky nadefinovanému klínu a známé osové rozteči kovacích válců je možné začít s modelováním nástrojů. Je důležité si uvědomit, že pokud je osová vzdálenost 180 mm, lze navrhnout velký počet variant nástrojů z hlediska jejich průměrů vůči sobě. Ovšem je nutno si uvědomit, že touto hodnotou je omezen maximální průměr kladek, který omezuje maximální délku konce klínu. Proto navržená geometrie bude ověřena v simulačním softwaru Simufact Forming a v případě nedostatků při vyhodnocení výsledků simulace bude provedena úprava. Po provedených úvahách byly vytvořeny dva modely:

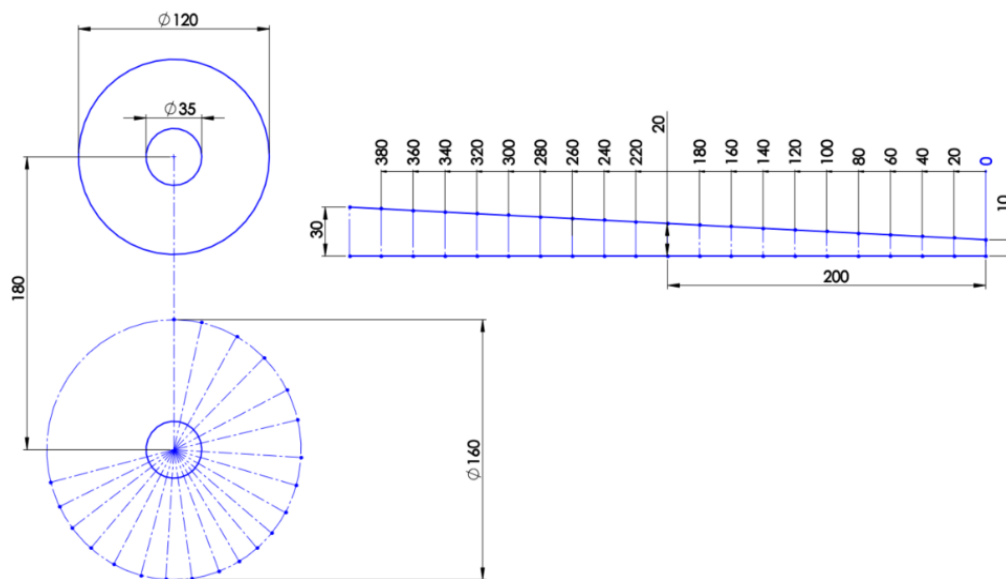


Obr. 27 Navržené varianty kovacích nástrojů

- První model je navržen s průměrem volně otočné kladky 120 mm a vačkou s průměrem základní roztečné kružnice 160 mm.
- Druhý model je navržen s volně otočnou kladkou 160 mm a vačkou s průměrem základní roztečné kružnice 120 mm.

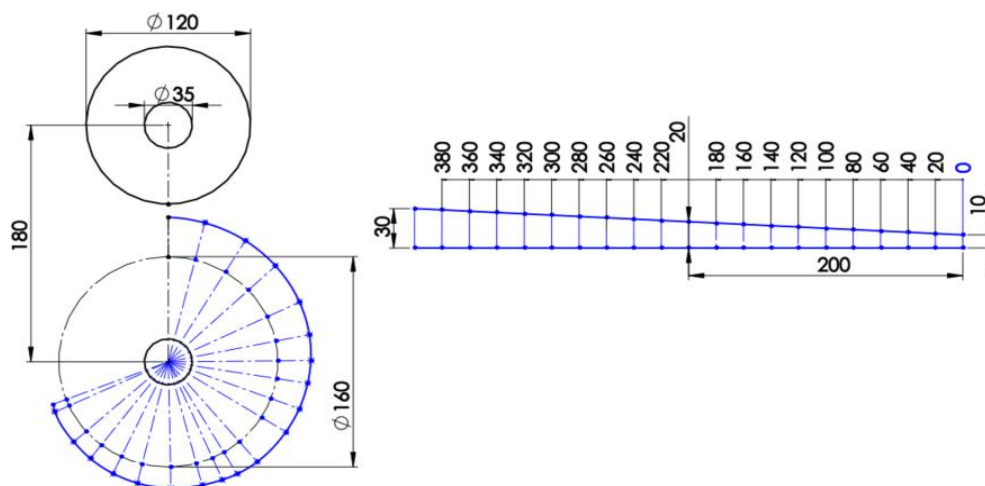
Výpočet přírůstku na vačce mezi roztečnou kružnicí a její hranou lze vypočítat pro zvolenou vzdálenost mezi kladkami následovně. Nejprve se sečtou průměry kladek a vydělí se dvěma (převedení na poloměry). Poté se přičte zvolená vzdálenost mezi kladkami a v posledním kroku se odečte osová vzdálenost kladek.

Postup modelování uvedený dále, bude pro variantu s pomocnou kladkou 120 mm. Jako první se nakreslí skica pomocné kladky, která se okótuje. Poté se nakreslí podélná osa o rozměru osové vzdálenosti kovacích válců, na jejím konci se nakreslí základní roztečná kružnice vačky. Ze středu této konstrukční kružnice je potřeba vést několik os, jejichž počet je roven počtu svislých os na klínu na Obr. 28 vpravo. V tomto případě je počet 21. Tyto osy je nutné zakreslit tak, aby jejich koncové body na kružnici nebyly zavazbeny, což by jinak v následujících krocích způsobilo nepříjemné potíže.



Obr. 28 První krok modelování vačky

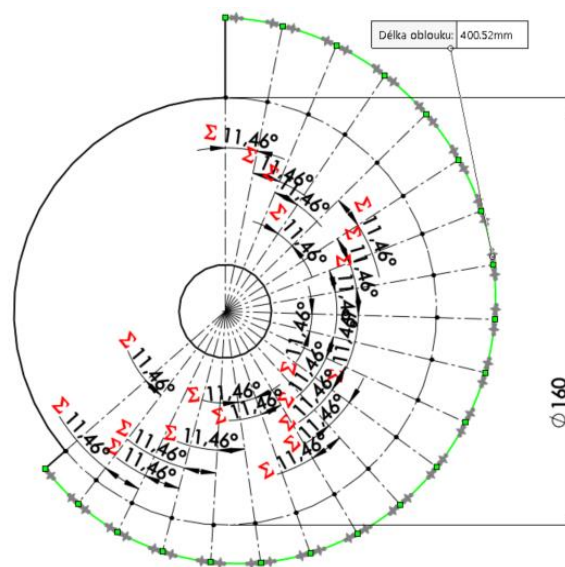
V dalším kroku se dokreslí osy k osám z předešlého kroku, viz. Obr. 29. Tyto osy mají po přidání libovolnou délku, jejich délka se definuje pomocí výšek svislých os z klínu pomocí vazby stejná délka. Při tomto kroku je nutno dbát zvýšené pečlivosti, aby se např. osy nějak nepomíchaly a tak podobně. Pokud jsou všechny předešlé úkony vykonány, lze koncové body os proložit křivkou, v případě Obr. 29 se jedná o křivku.



Obr. 29 Druhý krok modelování vačky

Posledním krokem je nadefinování úhlů mezi osami. Dalo by se mezi všechny osy vložit kóty, ovšem v tuto chvíli není znám úhel, který by osy měli svírat mezi sebou. Tento úhel lze určit experimentálně, jelikož je známo, že délka klínu má být 400,5 mm (délka přepony), což odpovídá délce křivky, kterou v softwaru lze jednoduše změřit. Pro zjednodušení se mezi osy vloží parametrické kóty, které umožní při změně hodnoty úhlu, přepsání všech kót najednou, což velmi urychlí práci.

Tímto je připraven postup, pomocí kterého lze provést konstrukci libovolné kladky.



Obr. 30 Dokončená skica pro vytvoření modelu vačky

Vhodná hodnota úhlu, která odpovídá požadované délce křivky, byla po relativně krátké době určena. Hodnota úhlu odpovídá 11,46°. Pro vytvoření 3D modelu vačky je ještě potřeba obtáhnout část roztečné kružnice pomocí funkce středového oblouku a čarami propojit s křivkou, aby skica byla uzavřena.

4. Numerická simulace

Simulační softwary představují zásadní nástroj pro analýzu a modelování reálných situací, nebo procesů v kontrolovaném prostředí. Softwary umožňují uživateli vytvořit a manipulovat se zkoumaným modelem a simulovat, tak jeho chování. Tyto softwary se využívají od procesů v dopravě, medicíně, herním průmyslu, strojírenství až po různé vědecké experimenty. Simulace mají zásadní roli v procesu rozhodování, kdy umožní vytvořit alternativní řešení problémů, provést analýzu nákladů různých variant, a to bez rizika fyzického zásahu v reálném prostředí. Tímto způsobem lze optimalizovat celý pozorovaný proces, zlepšit jeho výkon nebo snižovat jeho výrobní náklady.

Numerická simulace v procesech objemového tváření kombinuje matematické modelování a fyzikální principy s výpočetní technologií, čímž jsme schopni detailně zkoumat chování materiálu během tvářecího procesu. Simulacemi jsme schopni předpovědět chování materiálu během deformace, získat informace o teplotách, tlacích, rychlostech deformace atd. Tím dostaneme výsledný tvar součásti i jeho strukturu, čímž získáme optimální nastavení výrobních parametrů, které vedou k požadovaným výsledkům.

Využitím simulačních softwarů v procesech tváření, lze minimalizovat náklady na fyzické testování a zkrátit tak časový vývoj nových součástí. Lze snížit množství materiálu k výrobě součásti, předvídat a zabránit vadám či deformacím součásti a zvýšit tak jejich kvalitu. V tomto kontextu je numerická simulace klíčovým prvkem pro zvýšení efektivity a snížení nákladů výroby.

Existuje množství druhů numerických simulací, které v různých oblastech výzkumu, využívají různé metody výpočtu. Pro průmyslové aplikace jsou klíčové tyto:

Metoda konečných prvků

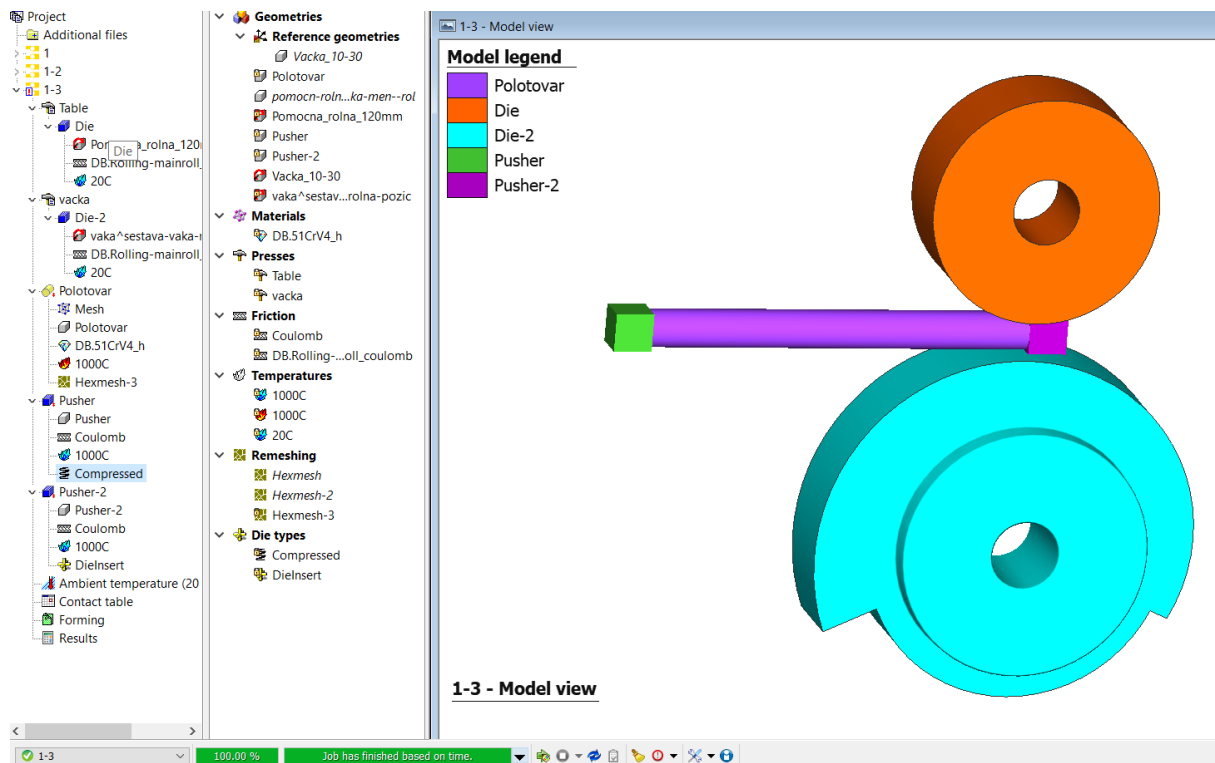
Tato metoda se využívá pro analýzu mechanických a termálních rovnic. Vložený model, je rozdělen na konečný počet prvků, které jsou vzájemně propojeny uzly. Metoda konečných prvků slouží k aproximaci fyzikálních rovnic (na základě zvolených podmínek) na každém uzlu.

Metoda konečných objemů

Metoda konečných objemů se využívá pro řešení problémů a analýzu proudění tekutin a plynů. Metoda konečných objemů funguje na podobném principu jako metoda konečných prvků, rozdílem je, že vložený model je rozdělen na mřížku objemových elementů a jsou řešeny bilanční rovnice pro každý objem.

4.1 Nastavení simulace

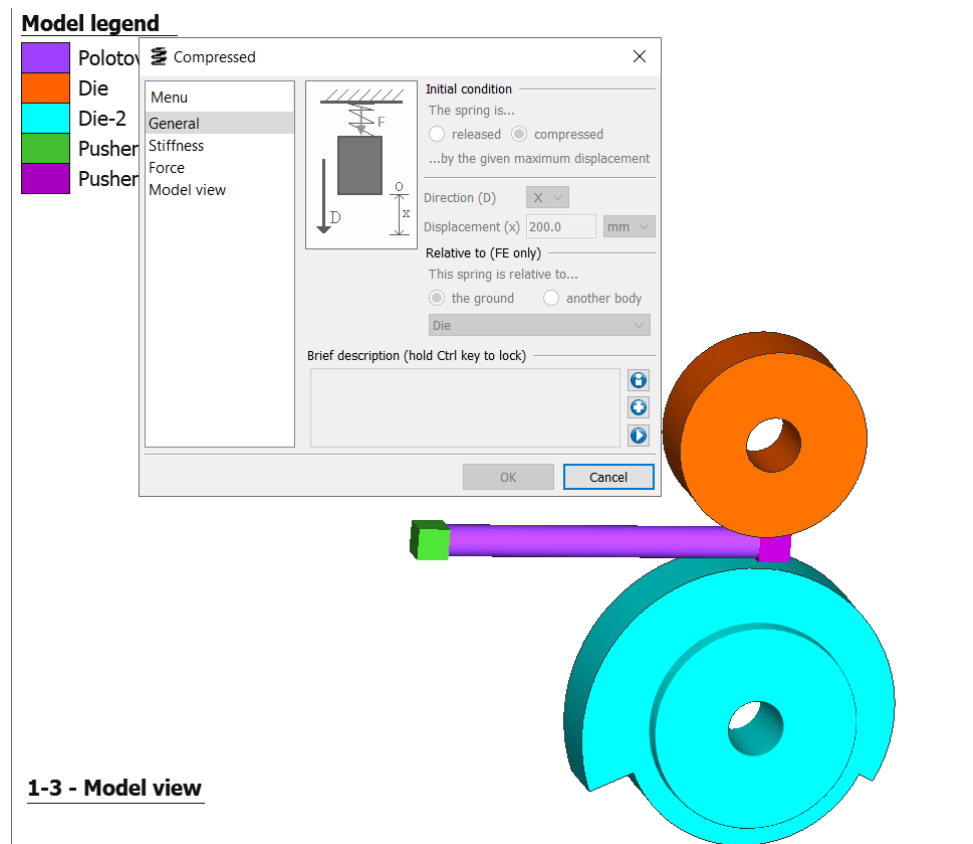
Simulace byla provedena pomocí programu Simufact Forming. Nejprve byla zvolena 3D simulace typu plochého válcování (FLAT ROLLING) o teplotě okolí 20 °C. Jako polotovaru byla vytvořena tyč o průměru 20 mm a délce 200 mm. Polotovaru byl přiřazen materiál 51CrV4 z knihovny programu a počáteční tvářecí teplota 1 000 °C. Polotovaru byl dále nasíťován pomocí tzv. Hexmesh (šestiúhelníkové elementy), která je vhodná pro objemové součásti a přináší stabilní výsledky simulací. Následně byly vloženy navržené kovací nástroje s osovou vzdáleností 180 mm. Pro nástroje byl zvolen koeficient tření o hodnotě 0,45. Těmto nástrojům byla přidělena rychlost otáčení. Kladce o průměru 120 mm (viz Obr. 31 oranžový model Die) byla určena rychlost otáčení 33,3 ot/min. Vačce o základním průměru 160 mm (viz Obr. 31 tyrkysový model Die-2) byla přiřazena rychlost otáčení 20 ot/min. Teploty nástrojů byly nastaveny na 20 °C.



Obr. 31 Nastavení simulace v simulačním softwaru Simufact Forming.

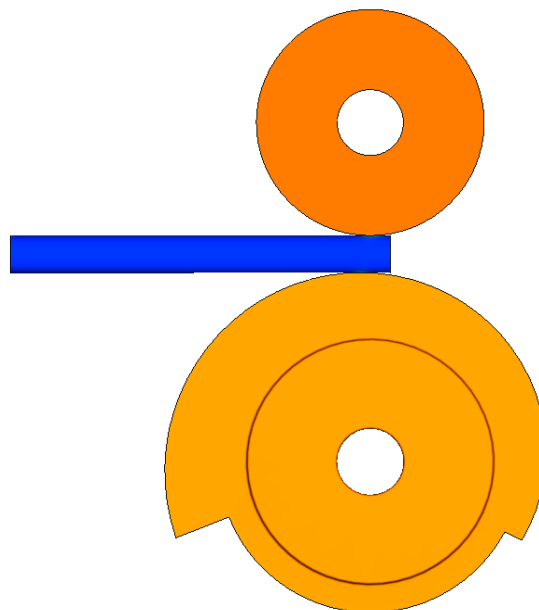
Následně byla do simulačního softwaru nahrána tlačná (viz Obr. 31 zelený model Pusher) a opěrná (viz Obr. 31 fialový model Pusher-2) deska. Tlačná deska plní funkci posuvu polotovaru mezi kovací nástroje. To je v simulačním softwaru docílené vložení funkce stlačení, které funguje jako pružina, viz Obr. 32, což zajistí posuv polotovaru ve směru osy x o jeho délku 200 mm. Teploty tlačné a opěrné desky byly nastaveny na 1 000 °C. Nakonec byla nastavena tabulka

kontaktů mezi jednotlivými tělesy v simulaci. Samotný proces tváření je definován otáčkami kovacích nástrojů a posuvem tlačné desky.

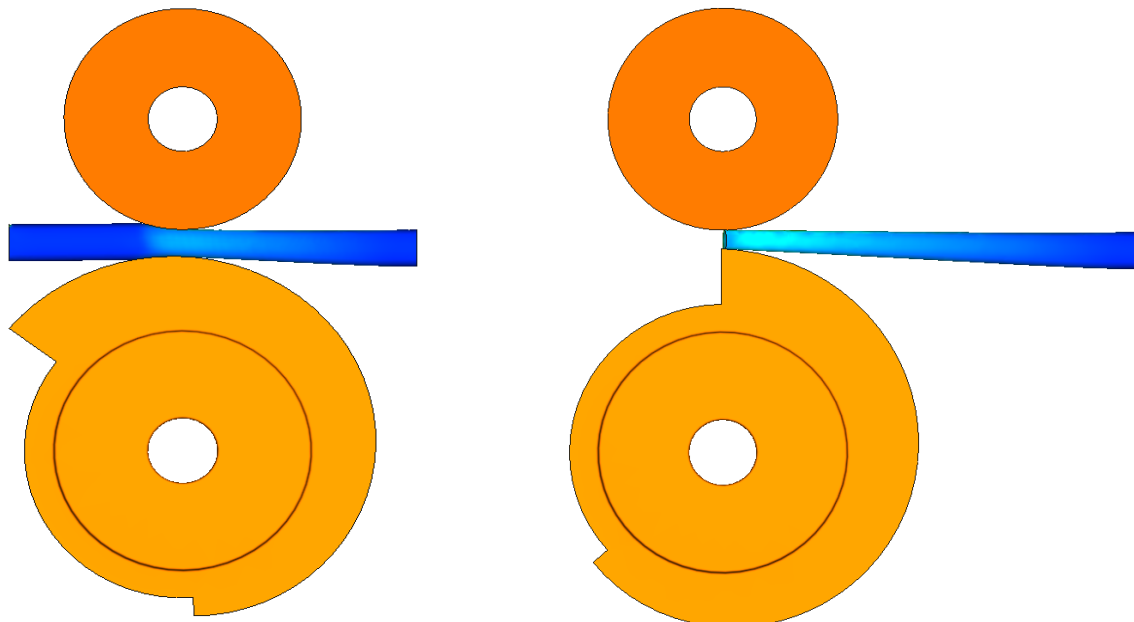


Obr. 32 Nastavení pohybu tlačné desky pomocí funkce stlačení.

Na následujících obrázcích je zobrazen průběh simulace a deformace klínu vyhodnocené softwarem.

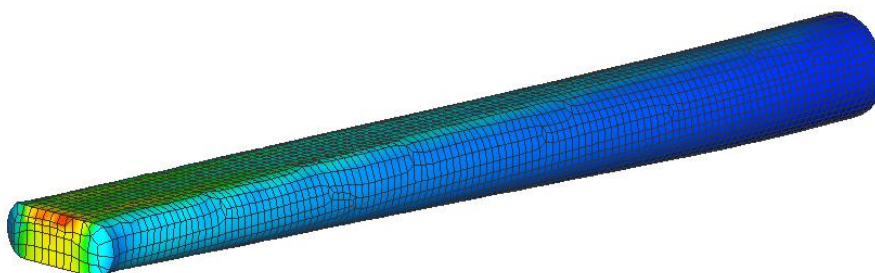
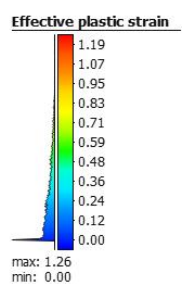


Obr. 33 Ukázka klínu na začátku simulace



Obr. 34 Ukázka klínu v průběhu a na konci simulace

Na Obr. 35 je vidět, že k největším deformacím bude docházet na volném konci.



1-3 - Results - 1
Sub-stage: tablepress
Progress: 95.14%

Obr. 35 Ukázka deformací klínu vyhodnocených simulačním softwarem.

5. Návrh úpravy konce tyče

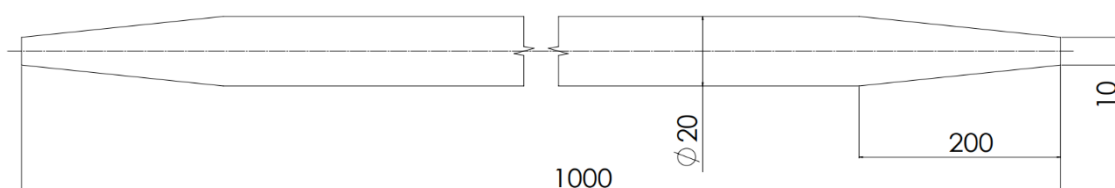
V práci byl proveden rozbor ohledně problematiky úprav konců polotovarů tyči. Jako nejvhodnější technologie pro tyto úpravy vyšla technologie tváření respektive kování na kovacích válcích, a proto dále v této kapitole bude popsána metodika postupu pro tuto technologii.

5.1 Metodika určení tvaru konce

Tato kapitola navazuje na kapitolu 2.2, ale bude věnována obecné metodice. Pokud se určuje tvar konce, je potřeba nejdříve začít s charakteristickými rozměry pružiny jako je střední průměr vinutí D , průměr polotovaru a stoupání závěrného závitu. Z těchto charakteristik lze určit délku klínu a jeho úhel. Jakmile jsou tyto hodnoty definovány, lze klín zjednodušeně vymodelovat v CAD programu tak, že se pomocí dvou rovin ořízne polotovar pod daným úhlem klínu. Délka polotovaru odpovídá zvolené délce klínu. Tímto postupem vzniká zjednodušený model, ze kterého lze zjistit hmotnost klínu, která se poté použije pro výpočet délky potřebného polotovaru pro úpravu.

Jak vyplývá z kapitoly 2.2, je potřeba každému druhu klínu přiřadit vhodný nástroj, jelikož je relativně malá šance, že bude nástroj odpovídat přesně danému úhlu klínu. Vzhledem k toleranci tloušťky na volném konci je nutné zvolit nástroj, který bude vyrábět klín co nejpodobnější. Je uvažováno použití čtyř tvarových nástrojů pro pokrytí tří stupňového rozsahu, pokud se toto množství ukáže jako nedostatečné, bude potřeba počet nástrojů zvýšit.

Na modelovém příkladu, který je uveden na Obr. 37, bude prezentována úspora materiálu polotovarů při úpravě konců pružin proti jejich konvenční výrobě (broušení). Při konvenční výrobě bude polotovar měřit jeden metr. Ovšem z kapitoly 2.2 vyplývá, že délka polotovaru klínu pro tuto modelovou situaci je 16,8 cm, a také je v ní popsáno, jak se vypočte délka potřebného polotovaru pro úpravu konce tyče. Tím pádem vstupní polotovar pro úpravu konců tyče bude měřit u tohoto modelové příkladu 936 mm, což činí úsporu 64 mm. Nutno podotknout, že s větším průměrem polotovaru a délkou klínu se bude tato úspora zvětšovat.

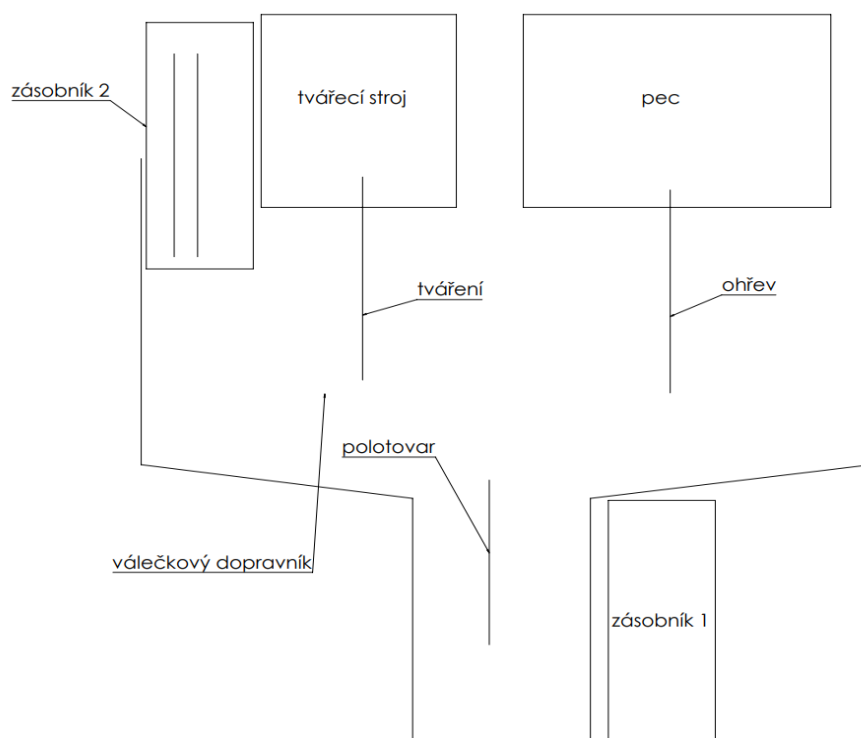


Obr. 36 Modelový příklad

5.2 Návrh manipulace s materiálem při úpravě konce tyče

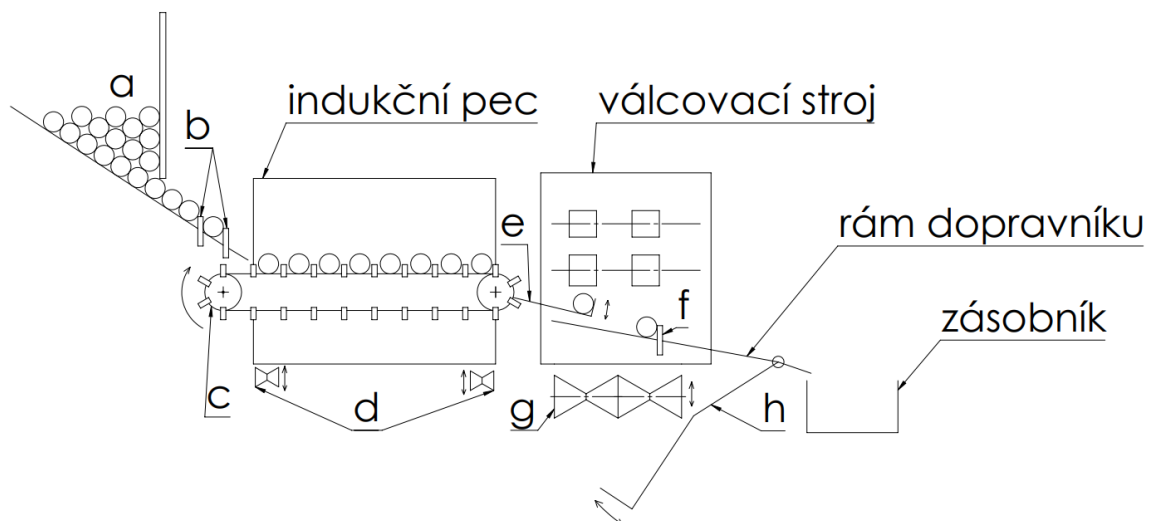
Návrh manipulace s polotovarem je jistě součástí problematiky úprav konců pružin, a proto mu je společně s kapitolou 2.3.1 věnována i tato. V rámci této diplomové práce jsou navrženy dva způsoby manipulace s polotovary. Prvním návrh počítá s manipulací, která bude prováděna obsluhou manuálně po válečkovém dopravníku (Obr. 38). Druhý návrh je zaměřen na automatickou manipulaci, která je znázorněna na Obr. 39 pohledem v nárýsu a na Obr. 40 pohledem shora.

Při návrhu manuální manipulace je uvažováno, že budou polotovary výrobní dávky přemístěny jeřábem do zásobníku 1. Z tohoto zásobníku se tyče přesunou do indukční pece, která je složena z dvou kruhových induktorů vedle sebe. Po ohřátí konce tyče obsluha tyč vyjme a vloží další tyč pro ohřev. Ohřátou tyč obsluha přesune po válečkovém dopravníku do tvářecího stroje. Po ukončení tváření je obsluha tyč přesunuta do zásobníku 2, kde tyče chladnou. Po ukončení výrobní dávky a jejich vychladnutí se tyče pomocí jeřábu otočí a přemístí do zásobníku 1. Celý proces se opakuje pro druhý konec.

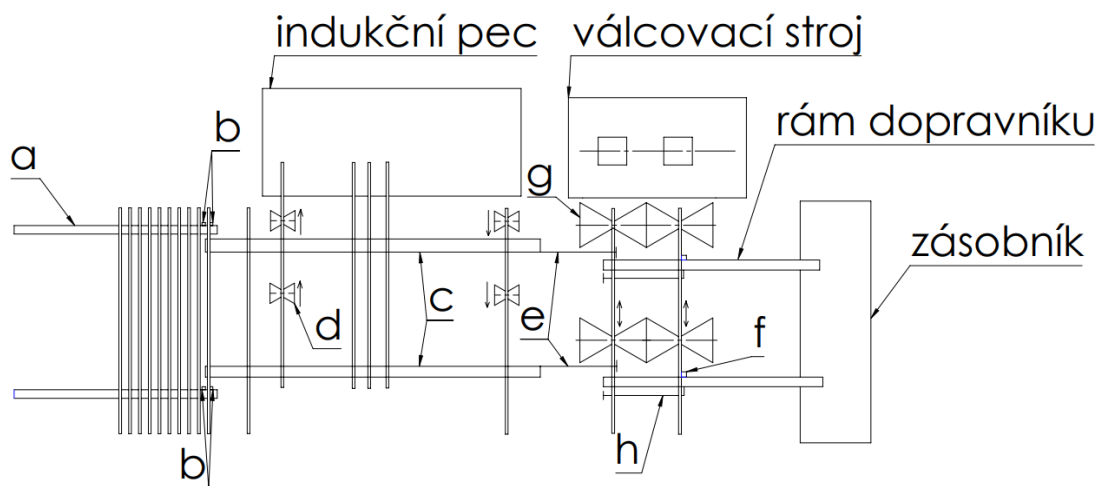


Obr. 37 Schéma návrhu ruční manipulace

U návrhu automatické manipulace se nejdříve polotovary přemístí jeřábem do zásobníku (a), ze kterého se pomocí pohybujících stavítek (b) dávkuje na dopravník (c). Tento řetězový dopravník přetržitě posunuje polotovary a zároveň kooperuje s dávkovacími kladkami (d), které posunují konec tyče do indukční pece. Po ukončení ohřevu ji naopak zase odebírá. Ve schématu jsou celkem osazeny čtyři kladky, které pracují vždy v páru, tzn. dvě na tyč. Tento mechanismus uvažuje, že tyto kladky tyč nadlehčí posuvným pohybem vzhůru přímo na dopravníku, a po provedení přesunu se zase zasunou. Na konci řetězového dopravníku padá tyč na stavítka (e), ze kterých je vyzvednuta dávkovacími kladkami (g) posuvným pohybem vzhůru, který tyče odebere ze stavítka. Následuje posunutí mezi pracovní nástroje. Při tomto pohybu je tyč dotlačena na doraz, který je nastaven dle požadované (vypočtené) délky polotovaru pro výrobu klínu. Po této operaci tyč vyjíždí ze stroje a kladky (g) se zasunují. Tyč padá na rám dopravníku a valí se na stavítka (f). Z tohoto stavítka jí opět odebírá kladka (g) a tyč je přesunuta mezi válcové kladky, které provedou korekci vytlačeného materiálu do stran klínu po předchozí operaci. Před tímto válcováním musí být tyč otočena o 90°. Toto otočení je uvažováno manuálně operátorem linky. Po této operaci tyč vyjíždí ze stroje, a zasunutím kladky (g) se přesune na stavítka (h), které tyč přemísťuje do polohy, ze které ji opět odebere kladka (g), jelikož není možné úpravu konce provést na jeden průchod nástroji. Proces kování se opakuje. Po získání požadovaného tvaru stavítka (f) zajíždějí, a tyč se valí po zasunutí kladek (g) po rámu dopravníku do zásobníku. Po ukončení výrobní dávky a zchladnutí jsou tyče otočeny a přemístěny na začátek do zásobníku (a), a proces se opakuje pro druhý konec. Nutno podotknout, že se tyče při válcování druhé strany musí správně natočit, což je v tomto návrhu uvažováno manuálně operátorem, ale bylo by možné mezi kladky (g) a kovací válcové vložit speciálního manipulátoru, který by se musel pohybovat ve směru x, y a otáčet tyčí.



Obr. 38 Schéma manipulace s tyčemi v nárysu



Obr. 39 Schéma manipule v pohledu shora

5.3 Proces válcování konce tyče

Během procesu válcování nástroji, které tváří klín konce tyče, je materiál vytlačován také do stran. Proto poté musí být tyč otočena o 90° a válcována mezi válcovými nástroji, které provedou vytlačení materiálu zpět, a díky tomu odpovídá šířka klínu průměru polotovaru. Ovšem po této operaci dochází k deformaci klínu (zvětšování jeho tloušťky) a polotovar musí celým procesem tváření kladkami projít znovu, poté bude tvar konce dostačující z hlediska přípravy konce.

6. Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce byl návrh technologie pro úpravu konců pružin. Stávající technologie výroby pružin je časově, energeticky a materiálově náročná, neboť závěrné konce pružin se připravují broušením. Motivací práce je tedy hledání způsobu odstranění těchto nedostatků.

V rámci práce byla popsána problematika výroby pružin, ale také základní rozdělení pružin, materiály používané pro jejich výrobu, problematice tvárnosti a informace o charakteristických vlastnostech pružin.

V práci je dále popsán obecný princip návrhu polotovaru pro tváření, kde je rozebrána volba přídavků, úkosu, minimálních poloměrů zaoblení, výronkové drážky, tvářecí stroje, volba tvářecích teplot a metody ohřevu, stanovení tvaru a hmotnosti polotovaru. Je proveden rozbor navrženého konce polotovaru pro výrobu pružin pro vybraný modelový příklad.

V práci jsou navrženy možné způsoby ohřevu konců tyčí a jsou navrženy možné způsoby manipulace s polotovarů použitelné v reálné výrobě z hlediska použité úrovně automatizace.

Byla provedena rešerše možných způsobů vhodných technologií pro úpravu konce tyčí pro výrobu pružin. Po rozboru navržených výrobních metod byla zvolena technologie kování na kovací válcích. Dále bylo zhotoveno několik klínu pomocí volného kování na bucharu, čímž bylo ověřeno, že tato technologie je málo produktivní.

Dalším stěžejním bodem této práce byl návrh metodiky vytvoření nástrojů pro úpravu konců tyčí. Metodika návrhu nástrojů byla ověřena pro navrženou modelovou situaci navrženého nástroje, který představuje úpravu konce tyče z polotovaru o průměru 20 mm, délka konce je 168 mm. Navržené nástroje jsou součástí příloh jak v nativním tak i universálním formátu.

Pro navržený výrobní postup byla připravena numerická simulace v SW Simufact Forming. V rámci této simulace byla řešena problematika tváření konce tyče pro navrženou modelovou situaci. V rámci simulace byla ověřena použitelnost této technologie pro úpravu konců tyče.

V práci je uvedena obecná metodika postupu návrhu délky polotovaru konce tyče pro úpravu a její přiřazení k vhodnému nástroji. Rozbor chyby při nedodržení úhlu nebo délky konce tyče s ohledem na nedodržení úhlu.

Pro manipulaci s materiálem byly navrženy 2 způsoby manipulace s materiálem s ohledem na stupeň automatizace. První návrh uvažuje ruční manipulaci s tyčemi po

válečkovém dopravníku. V druhé variantě je popsán návrh manipulace v vysokém stupněm manipulace s polotovary, a také je zde popsán proces válcování.

7. Seznamy

7.1 Seznam literatury

- [1] GROTE, Karl-Heinrich a Hamid HEFAZI-TORGHABEH. Springer handbook of mechanical engineering. 2nd. Cham, Switzerland: Springer, 2021 [cit. 2023-05-10]. ISBN 978-3-030-47034-0
- [2] WIŚNIEWSKI, Marek. Elastic machine components. In: Design of machines [online]. Lodž: Polish tribology society, 2014 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z : <http://designofmachines.pl/index.php?lang=1&ion=article&option=content&id=64>
- [3] MELICHAR, Marek. Vliv změny tvaru a rozměrů na charakteristiku vinuté tlačné pružiny [online]. Brno, 2018 [cit. 2023-05-16]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, ÚMTMB. Vedoucí práce Jiří Burša. Dostupné z : https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=174654
- [4] Mitcalc.com [online]. 2010 [cit. 2023-05-20]. Pružiny. Dostupné z: <https://www.mitcalc.com/doc/springs/help/cz/springs.htm>
- [5] L.Prášil. Části a mechanismy strojů – Výběr pro textilní fakultu, Liberec, 1990 [cit. 2023-05-22]. 334 stran, 232 obrázků. ISBN 80-7083-008-5
- [6] R. Bobade a S. Yadav, „Lateral Forces in the Helical Compression Spring“, roč. 5, s. 2589–2593, 2017 [cit. 2023-05-27]. Dostupné z : https://www.researchgate.net/publication/342782816_Lateral_Forces_in_the_Helical_Compression_Spring/figures?lo=1
- [7] Mitcalc.com [online]. 2010 [cit. 2023-05-30]. Pružiny. Dostupné z: <https://www.mitcalc.com/doc/sprcompress/help/cz/sprcompress.txt.htm>
- [8] BORTLÍK, Pavel. Bezkontaktní měření geometrických parametru pružin [online]. Brno, 2013 [cit. 2023-06-01]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, ÚMTMB. Vedoucí práce Petr Beneš. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65661
- [9] SERCEL, Daniel. Materiály pro výrobu pružin [online]. Brno, 2012 [cit. 2023-06-01]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, UMVI. Vedoucí práce KAREL NĚMEC. Dostupné z : <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/handle/11012/12550?show=full>

- [10] 51CrV4, 1.8159, 15260 – Pružinová ocel. BODEN - MATTE s.r.o. [online]. U Hřiště 1233/II: BODEN - MATTE, 2023 [cit. 2023-06-05]. Dostupné z: <https://www.boden.cz/cs/sortiment/dodavany-sortiment/51crv4-50crv4-1-8159-15260-pruzinova-ocel-spring-steel-federstahl/>
- [11] ŠROUBOVÉ PRUŽINY. Hzp.cz [online]. Dolní 3137/100, 2023 [cit. 2023-06-05]. Dostupné z: <https://www.hzp.cz/sroubove-pruziny>
- [12] 52CRMOV4, 51CRMOV4, 1.7701, AISI 4150 - SPRING STEEL. <https://virgamet.com/> [online]. Toruňská 15/2, 2023 [cit. 2023-06-07]. Dostupné z: <https://virgamet.com/52crmov4-51crmov4-1-7701-aisi-4150-g41500-51cdv4-58crmov4-spring-steel>
- [13] Technology - State-of-the-Art Spring Manufacturing Plant. Hanson Springs Ltd. [online]. 2013 [cit. 2023-06-11]. Dostupné z: <http://www.hanson-springs.co.uk/technology.html>
- [14] PÁLENÍK, Radek. HANÁCKÉ ŽELEZÁRNY A PÉROVNY, a.s. Popis požadavků na měření kolmosti a rovnoběžnosti. Prostějov, 2012.
- [15] All about springs [online]. 5627 Airline Hwy, Fruitport, MI: Aimcoil, 2019 [cit. 2023-06-17]. Dostupné z: <https://aimcoil.com/wp-content/uploads/2019/10/All-About-Springs-FINAL-10-2019-B.pdf>
- [16] SOBOTKA, JIŘÍ. NÁVRH ROVNAČKY XRK 7-200 [online]. Brno, 2014 [cit. 2023-06-21]. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, ÚVSSR. Vedoucí práce Jiří Omes. Dostupné z : https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=83383
- [17] Hot Wound Springs. Mwcomponents [online]. USA, 2023 [cit. 2023-06-25]. Dostupné z: <https://www.mwcomponents.com/how-coil-springs-are-made>
- [18] Hot Wound Spring Manufacturing. Mwcomponents [online]. USA, 2023 [cit. 2023-07-02]. Dostupné z: <https://mwi.imgix.net/Custom-Manufacturing/Other-Images-People/MW-Components-Custom-Manufacturing-MWS8-Hot-Coiling-Auto-Coiler-bw.jpg?auto=format%2Ccompress&crop=focalpoint&fit=crop&fp-x=0.5&fp-y=0.5&ixlib=php-2.1.1&w=1280&s=488d5b553aa328ea6fb27031cb9d1da0>
- [19] MECA, Jan. Sledování životnosti nástroje s ostrou designovou hranou. Praha, 2015 [cit. 2023-07-02]. Dostupné také z: <https://docplayer.cz/18869311-Diplomova-prace-ceske->

vysoke-uceni-technicke-v-praze-fakulta-strojni-sledovani-zivotnosti-nastroje-s-ostrou-designovou-hranou.html. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce František Tatíček.

[20] RADA, Josef et al. Elektrotepelná technika. 1. vyd. Praha: SNTL, 1985, 344 s

[21] CKW - Vertikální hydraulické lisy pro volné kování. In: <https://www.strojimport.cz/> [online]. Praha 3: STROJIMPORT, 2017 [cit. 2023-07-04].

Dostupné z: <https://www.strojimport.cz/maschinen/vertikalni-hydraulicky-lis-ckw/>

[22] Roll Forging Machine. Birson Forgings [online]. India, 2023 [cit. 2023-07-04]. Dostupné z: <https://www.birsonforgings.in/roll-forging-machine.htm>

7.2 Seznam obrázků

OBR. 1 PŘEHLED DRUHŮ PRUŽIN [1].....	13
OBR. 2 DRUHÝ ZATĚŽUJÍCÍCH CHARAKTERISTIK PRUŽIN [2]	13
OBR. 3 TYPY TLAČNÝCH PRUŽIN [6].....	15
OBR. 4 SCHÉMA ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ PRUŽINY [7]	16
OBR. 5 ZAKONČENÍ ŠROUBOVITÝCH PRUŽIN [7]	17
OBR. 6 MOŽNÉ VADY ROVINATOSTI DOSEDACÍCH PLOCH PRUŽINY [8]	18
OBR. 7 MOŽNÉ VADY ZBROUŠENÍ KROUCENÉHO DRÁTU [8]	19
OBR. 8 MOŽNÉ VADY VÁLCOVITOSTI ŠROUBOVÉ PRUŽINY [8]	19
OBR. 9 KALENÍ VELKÉ PRUŽINY [13].....	22
OBR. 10 OKÓTOVANÝ VÝKRES PRUŽINY [14]	23
OBR. 11 VÁLEČKOVÁ ROVNAČKA DRÁTU [16].....	23
OBR. 12 JEDNOBODOVÁ NAVÍJEČKA PRUŽIN [15]	24
OBR. 13 DVOUBODOVÁ NAVÍJEČKA PRUŽIN [15].....	25
OBR. 14 NAVÍJENÍ PRUŽINY POMOCÍ POSUVNÉ ROLNY [18]	26
OBR. 15 PRUŽINA NAVINUTÁ ZA TEPLA [11].....	26
OBR. 16 NAVRŽENÝ KONEC PRO VÝPOČET DÉLKY POLOTOVARU	32
OBR. 17 UKÁZKA ODCHYLKY KLÍNU PŘI ZMĚNĚ STOUPÁNÍ KLÍNU	34
OBR. 18 PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH MANIPULACE S MATERIÁLEM	35
OBR. 19 OVÁLNÝ INDUKTOR PRO INDUKČNÍ OHŘEV KONCŮ TYČÍ [20]	36
OBR. 20 SCHÉMA PRŮBĚŽNÉHO INDUKČNÍHO OHŘEVU TYČÍ [20]	36
OBR. 21 KOVÁNÍ KLÍNU NA BUCHARU POMOCÍ HLADÍTKA	38
OBR. 22 KOVÁNÍ KONCE PRUŽINY NA BUCHARU.....	38
OBR. 23 UKÁZKA ZAŘEZANÝCH KONCŮ VYKOVANÝCH NA BUCHARU.....	39
OBR. 24 UKÁZKA NEZAŘEZANÝCH KONCŮ VYKOVANÝCH NA BUCHARU	39
OBR. 25 KOVACÍ VÁLCE BIRSON [22].....	40
OBR. 26 ROZVINUTÝ KLÍN PRO KONSTRUKCI TVAROVÉ KLADKY	41
OBR. 27 NAVRŽENÉ VARIANTY KOVACÍCH NÁSTROJŮ	42
OBR. 28 PRVNÍ KROK MODELOVÁNÍ VAČKY	43
OBR. 29 DRUHÝ KROK MODELOVÁNÍ VAČKY.....	43
OBR. 30 DOKONČENÁ SKICA PRO VYTVOŘENÍ MODELU VAČKY	44
OBR. 31 NASTAVENÍ SIMULACE V SIMULAČNÍM SOFTWARE SIMUFACT FORMING.	46

OBR. 32 NASTAVENÍ POHYBU TLAČNÉ DESKY POMOCÍ FUNKCE STLAČENÍ.....	47
OBR. 33 UKÁZKA KLÍNU NA ZAČÁTKU SIMULACE	47
OBR. 34 UKÁZKA KLÍNU V PRŮBĚHU A NA KONCI SIMULACE	48
OBR. 36 UKÁZKA DEFORMACÍ KLÍNU VYHODNOCENÝCH SIMULAČNÍM SOFTWAREM.....	48
OBR. 37 MODELOVÝ PŘÍKLAD	49
OBR. 38 SCHÉMA NÁVRHU RUČNÍ MANIPULACE	50
OBR. 39 SCHÉMA MANIPULACE S TYČEMI V NÁRYSU.....	51
OBR. 40 SCHÉMA MANIPULE V POHLEDU SHORA	52

7.3 Seznam tabulek

Tab.1 Popis stavů pružin a jejich značení [7].....	16
Tab.2 Charakteristické parametry pružin [7].....	16

7.4 Seznam příloh

Příloha 1 – Model první varianty navržených nástrojů

- Sestava první varianty
- Vačka s roztečným průměrem 160 mm
- Volně otočná kladka 120 mm

Příloha 2 – Model druhé varianty navržených nástrojů

- Sestava druhé varianty
- Vačka s roztečným průměrem 120 mm
- Volně se otočná kladka 160 mm

