

Konstrukce sudové kleštiny

Alois Hradil

Bakalářská práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Alois Hradil
Osobní číslo:	T20644
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Konstrukce sudové kleštiny

Zásady pro vypracování

- 1) Vypracujte literární rešerši na dané téma.
- 2) Provedte průzkum trhu.
- 3) Vytvořte model kleštiny.
- 4) Vyhotovejte výkresovou dokumentaci k výrobě kleštiny.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. Základy konstruování. Vydání šesté. Brno: CERM, Akademické nakladatelství, 2015, 230 s. ISBN 9788072049219.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. Brno: VUTIMUM, 2010, xxv, 1159 s. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.

VOLEK, František. Základy konstruování a části strojů I. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009, 167 s. ISBN 978-80-7318-654-8.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Adam Škrobák, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **19. května 2023**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 7. února 2023

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce řeší kompletní postup výroby sudové kleštiny. Cílem je navrhnout optimální jednoúčelový manipulátor pro konkrétní tvar břemene. Konstrukce probíhá na základě analytického řešení s podporou metody konečných prvků. Zároveň jsou v praktické části formulovány veškeré parametry ovlivňující výsledný produkt. Na závěr je určena tržní cena a výrobek je odzkoušen v praxi.

Klíčová slova: jeřáby, laserové obrábění, manipulátory, počítačová simulace, samosvornost

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the complete production process of a lifting clamp. The aim is to design an optimal single-purpose manipulator for a specific type of load. The construction is based on an analytical solution supported by finite element methods. A practical part also formulates all parameters affecting the final product. Eventually, the market price is determined with subsequent testing of the product in the field.

Keywords: cranes, laser machining, manipulators, computer simulation, automatic locking

Na tomto místě bych chtěl poděkovat panu Ing. Adamu Škrobákovi, Ph.D. za odborné vedení, rady a připomínky, které mi poskytl při tvorbě této bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 PŘEHLED MANIPULAČNÍCH PROSTŘEDKŮ.....	12
1.1 MANIPULÁTORY	12
1.1.1 Rozdělení manipulátorů podle různých kritérií.....	12
1.1.2 Přehled obecných požadavků pro uchopovací prostředky	13
1.2 ZÁKLADNÍ TYPY UCHOPOVACÍCH PROSTŘEDKŮ	13
1.2.1 Traverzy a závěsy	13
1.2.2 Jeřábové háky	15
1.2.3 Drapáky	16
1.2.4 Kleště.....	17
1.2.5 Přísavné a vakuové manipulátory	18
1.2.6 Magnetické manipulátory.....	20
2 JEŘÁBY	21
2.1 ROZDĚLENÍ JEŘÁBŮ PODLE RŮZNÝCH KRITÉRIÍ	22
2.2 TAŽNÉ A VÁZACÍ PRVKY	23
2.2.1 Ocelová lana.....	23
2.2.2 Řetězy.....	24
2.2.3 Textilní vázací prostředky.....	26
3 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ LASEREM	27
3.1 VZNIK LASEROVÉHO ZÁŘENÍ	27
3.2 PRINCIP LASERU	28
3.3 LASERY	29
3.4 ŘEZÁNÍ LASEREM	29
3.4.1 Způsoby řezání	30
4 SVAŘOVÁNÍ.....	32
4.1 SVAŘITELNOST	32
4.2 OBLOUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ	32
4.3 ELEKTRICKÝ OBLOUK.....	33
4.4 ZDROJE SVAŘOVACÍHO PROUDU	33
4.5 TECHNIKA RUČNÍHO SVAŘOVÁNÍ ELEKTRICKÝM OBLOUKEM	33
5 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ	35
5.1 TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY OHÝBÁNÍ.....	35
5.1.1 Poloměr ohybu	35
5.1.2 Ztenčení stěny v místě ohybu.....	35
5.1.3 Odpružení po ohýbání	35
5.1.4 Zbytková pnutí	36

5.2	ZAKRUŽOVÁNÍ	36
6	BEZPEČNOST PRÁCE PŘI MANIPULACI	37
6.1	NEJČASTĚJŠÍ PŘÍČINY PRACOVNÍCH ÚRAZŮ PŘI MANIPULACI S BŘEMENY	37
6.2	PŘEMÍSTĚNÍ SUDŮ A NÁDOB K PRACOVNÍ PLOŠE.....	37
6.3	ZÁSADY BEZPEČNOSTNÍ PRÁCE PŘI ZDVIHÁNÍ BŘEMEN	38
II	PRAKTICKÁ ČÁST	39
7	CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	40
8	VÝBĚR A HODNOCENÍ IDEÁLNÍ VARIANTY	41
8.1	POPIS VYBRANÝCH VARIANT	41
8.2	MODEL ZVEDANÉHO SUDU	43
8.3	SROVNÁNÍ VARIANT	44
8.4	ODŮVODNĚNÍ VÝBĚRU KONKRÉTNÍ VARIANTY	45
9	KONSTRUKČNÍ NÁVRH KLEŠTÍ	46
9.1	POŽADAVKY NA KONSTRUKCI	46
9.2	VOLBA MATERIÁLU	46
9.3	VOLBA ZÁKLADNÍCH ROZMĚRŮ.....	47
9.4	VÝPOČET SIL PŮSOBÍCÍCH NA KLEŠTĚ.....	48
9.5	NÁVRH A KONTROLA BOČNÍHO ČEPU KLEŠTÍ	49
9.6	NÁVRH A KONTROLA PROSTŘEDNÍHO ČEPU KLEŠTÍ	51
9.7	NÁVRH A KONTROLA ROVNÉHO RÁMU	52
9.8	NÁVRH A KONTROLA ZAKŘIVENÉHO RÁMU	53
9.9	NÁVRH A KONTROLA NOSNÉHO ČEPU S NOSNÝM RÁMEM	56
9.10	KONTROLA ÚNOSNOSTI SVARŮ.....	59
9.11	VOLBA NORMALIZOVANÝCH SOUČÁSTÍ.....	61
10	POSTUP VÝROBY A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	63
10.1	VÝROBA JEDNOTLIVÝCH SOUČÁSTÍ.....	63
10.2	MONTÁŽ.....	65
10.3	POPIS 3D MODELU A UKÁZKA Z PRAXE	66
10.4	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	67
10.4.1	Ceny materiálů	68
10.4.2	Ceny normalizovaných součástí a pomocných materiálů	68
10.4.3	Ceny činností.....	68
10.4.4	Závěrečné zhodnocení.....	69
	ZÁVĚR	70
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	72
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	76

SEZNAM OBRÁZKŮ	79
SEZNAM TABULEK.....	81
SEZNAM PŘÍLOH.....	82

ÚVOD

V mnoha výrobních odvětvích nastává modernizace z hlediska usnadňování práce. Vznikají nová a vylepšená zařízení, která zkracují celkový proces výroby, a hlavně je díky nim vynakládáno minimální úsilí k dosažení požadovaného výsledku. Tato zařízení tedy vykonávají předem stanovené pracovní cykly a jsou uzpůsobena pro specifický druh práce. Díky tomu následně vznikají další představy a inspirace pro jejich vylepšení za účelem změny jejich tvaru a přidáním nových prvků pro náš prospěch. Tímto směrem je vedena i tato bakalářská práce.

Je vybráno téma konstrukce sudové kleštiny. V teoretické části bakalářské práce je nejprve kladen důraz na různé typy manipulačních prostředků. Další kapitola se okrajově věnuje jeřábům, jelikož na tomto principu funguje celkový zdvihový proces. Následně jsou témata hlavních kapitol vybrána a seřazena na základě stěžejních výrobních technologií pro zhotovení kleštiny. Teoretická část je zakončena bezpečností práce při manipulaci s kleštinami, kde jsou zároveň popsána i možná rizika úrazu a doporučeny určité zásady pro jejich eliminaci.

Při důkladném průzkumu trhu bylo posouzeno, že by konstrukčně nevyhovovaly téměř žádné možné varianty. Cílem je tedy navrhnout kleštiny tak, aby byly co nejlépe schopny uchytit a zvednout konkrétní typ sudu. Dalším cílem je dosažení cenově dostupného výrobku, který by byl schopen konkurovat, nebo by se nejméně přiblížil cenám na trhu. Kvůli ceně je při konstruování kladen důraz na jednoduchost a co nejlepší vyrobiteľnost.

Hlavním důvodem, proč je zvoleno právě toto téma je jeho komplexnost. Kleštiny budou sloužit jako manipulační prostředek pro sudy, které svou velikostí vytvářejí nedostatek místa na konkrétní pracovní ploše. Proto budou tyto sudy pomocí kleštin přemístěny a následně skladovány v předem uzpůsobeném prostoru. Zároveň toto téma umožňuje uplatnit doposud získané studijní znalosti, jelikož bude vyzkoušen kompletní proces výroby kleštin. Výrobní proces zahrnuje návrh tvaru a rozměrů konstrukce, výpočty, dimenzování a samotnou výrobu s cenovým zhodnocením.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PŘEHLED MANIPULAČNÍCH PROSTŘEDKŮ

Existuje velké množství typů manipulačních prostředků z hlediska druhu práce a aktuální potřeby. Tato kapitola se proto zabývá především přehledem manipulátorů a uchopovacích zařízení, určených ke zvedání jednoduchých tvarů břemen.

1.1 Manipulátory

Jedná se o manipulační nástroje či zařízení, která plní svou úlohu jak při procesu výroby, tak i mezi jednotlivými kroky výroby. Nejprve byly používány pro ustavení, natáčení nebo přemístění různých prostředků do určité pracovní polohy. Byly označovány jako polohovadla. [1]

V průběhu let jsou kladeny čím dál větší nároky na manipulační procesy, díky čemuž vznikají propracovanější zařízení, označované jako manipulátory, které uspokojují nároky současného výrobního odvětví. Za účelem automatizace výroby vznikají průmyslové roboty a manipulátory, které nahrazují ruční práci. [1]

1.1.1 Rozdělení manipulátorů podle různých kritérií

a) Podle způsobu ovládní:

- ruční (háky, traverzy, vázací prostředky apod.),
- mechanické (samosvorné kleště, drapáky apod.),
- automatické (elektromagnety, přísavky apod.). [2]

b) Podle konstrukce:

- odnímatelné (magnety, kleštiny apod.),
- neodnímatelné (traverzy, chapadla apod.). [3]

c) Podle pracovní a manipulační roviny:

- horizontální,
- vertikální,
- univerzální. [4]

1.1.2 Přehled obecných požadavků pro uchopovací prostředky

- vynaložit minimální práci obsluhy,
- splňovat veškerou bezpečnost provozu,
- snadně a rychle uchopit břemeno,
- nízká hmotnost vlastní konstrukce,
- nepoškozovat sebe ani břemeno. [3]

1.2 Základní typy uchopovacích prostředků

V následujícím rozdělení jsou uvedeny prostředky pro zavěšení či uchopení břemen, u kterých není technická, hospodárná a bezpečná možnost pro jejich uvázání pomocí vázacích prostředků. Patří zde především břemena složitých tvarů, se kterými je manipulováno v rizikovém prostředí (vysoká teplota, chemikálie, záření apod.). [3]

Dalším důvodem pro jejich využití je konzistence materiálů (tekuté, sypké, kusové). V některých případech totiž není možné tyto druhy materiálů z technologických důvodů přepravit pomocí dopravníků. [3]

1.2.1 Traverzy a závěsy

Základní konstrukcí traverz je nosník libovolného průřezu, který je opatřen systémem volně posuvných kladek. Břemeno je tedy uchopováno a neseno například několika háky, chapadly nebo magnety, které jsou na traverzách upevněny. Nejčastěji jsou používány právě jako pomocné zařízení pro další typy jeřábů nebo manipulátorů. [3]

Výhodou traverz je jejich univerzálnost a přizpůsobení. Setkat se s nimi můžeme prakticky ve všech průmyslových podnicích (např. automobilový průmysl, hutní průmysl). Nevýhodou je naopak mohutná konstrukce, která může v určitých případech spíše překážet. [3]



Obrázek 1 Stavitelná jeřábová H traverza [5]

Závěsy slouží k manipulaci s paletami nebo kusovými břemeny, která jsou svým tvarem vhodná právě pro toto použití. Oproti traverzám je u závěsů využívána ke zvedání jejich samotná konstrukce, sestavena a svařena z různých typů profilů. Dalším rozdílem jsou přídatná zařízení, jež se zde téměř neuplatňují. [3]

Samovyvažovací závěsy jsou zavěšovány pomocí háků, které jsou upevněny vázacími prostředky ke zdvihacím zařízením. Jsou konstruovány tak, aby byly schopny vyvážit své těžiště při jakémkoliv nákladu. [3]



Obrázek 2 Závěs samovyvažovací [6]

Závěsy vyvažované převěšováním jsou zavěšeny stejným způsobem jako samovyvažovací závěsy, ale jejich poloha těžiště je vyvažována pomocí přesouvání oka závěsu do libovolné polohy. [3]

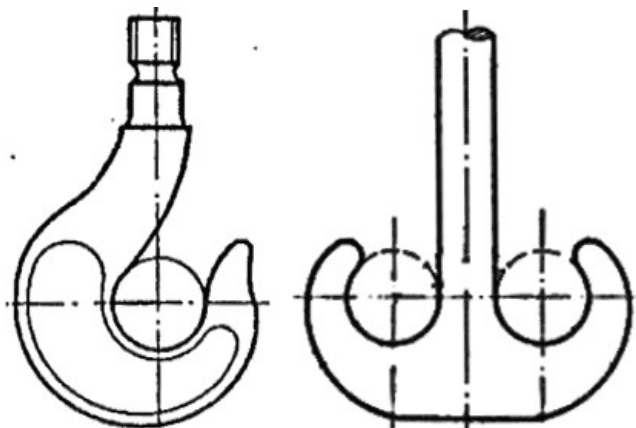


Obrázek 3 Závěs vyvažovaný převěšováním [7]

1.2.2 Jeřábové háky

Jeřábové háky jednoduché a dvojité

Skládají se ze závitové části, dříku pro uložení háku v kladnici a zakřivené části sloužící pro zachycení břemene buď přímo, nebo úvazkem. Jsou vyráběny zápusťkovým kovááním. Používají se do nosnosti 32 tun. Dvojité háky jsou stejné jako háky jednoduché s tím rozdílem, že zakřivená část je dvojitá. Jsou normalizovány do 125 tun. [3]



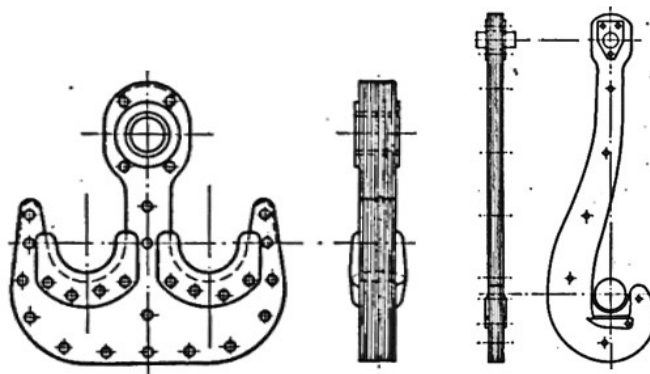
Obrázek 4 Hák jednoduchý a dvojitý [3]

Jeřábové háky lamelové

Hák se skládá z několika lamel, které jsou broušené a nýtované, popřípadě v oblasti závěsného oka svařované. Závěsné oko je navíc opatřeno ocelovým pouzdrem a obě rozevření háku pak vložkami proti opotřebení. Využívají se pro břemena s hmotností větší než 125 tun. [3]

Jeřábové háky pánvové

Jedná se o jednoduché lamelové háky s okem, sloužící k přenášení pánví s tekutým surovým železem, nebo ocelí. Jsou uzpůsobeny jednotlivým typům pánví (výška, průměr, délka čepů). Lamely se vyrábí válcováním plechů do tloušťky 12 milimetrů. Vnitřní zakřivený povrch háku společně s vnějším okrajem nosu je opatřen ocelovým pásem. Ocelový pás je navařený průběžným svarem. Alternativou pásu bývá použití vrstvy tvrdokovu, která je navařena na vnitřním povrchu háku. Oko háku je opatřeno ocelovým pouzdrem, které je zalisované a zavařené. [3]



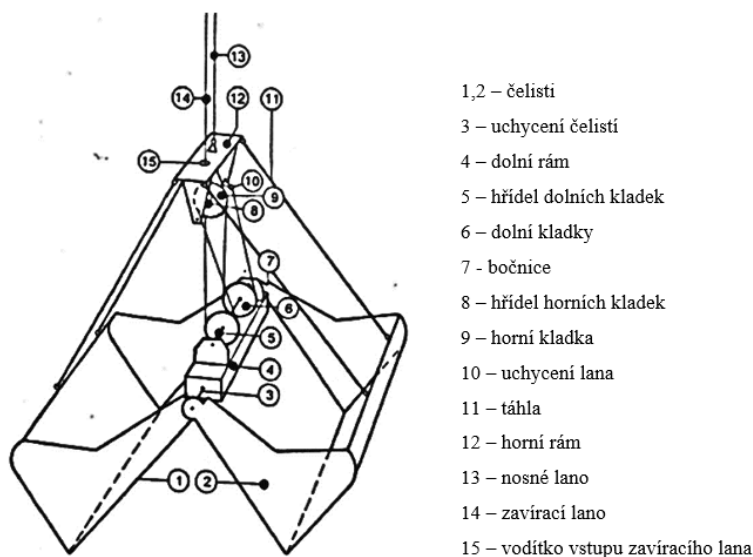
Obrázek 5 Hák lamelový a pánvový [3]

1.2.3 Drapáky

Pro ložení, vykládání, překládání a manipulaci se sypkými materiály používají jeřáby nejčastěji drapáky. Drapáky automaticky plní a vyprazdňují vlastní obsah v procesu překládky hromadných polotovarů, kulatin, ocelového šrotu a podobně. Konstrukce drapáků, které jsou určené pro různé typy materiálů, je vždy velmi podobná. Hlavním rozdílem je zde většinou pouze počet čelistí a lan. [3] [8]

Drapak dvoulanový

Jedná se o nejčastěji používaný univerzální drapak, v konstrukčním provedení se dvěma čelistmi. Je ovládán pomocí dvoububnového mechanismu. Funguje na principu dvou systémů lan, a to závíracích a přídržných. Mezi jeho hlavní části patří horní a dolní rám, čtyři táhla, dvě čelisti a kladkostroj. Aby nedocházelo k přeplnění nebo pěchování materiálu uvnitř čelistí, jsou některé drapáky opatřeny výsypanými otvory. [3] [8]



Obrázek 6 Dvoulanový drapak [8]

Drapak motorický

Motorický drapak je konstrukčně jednodušší než drapak lanový. Skládá se ze spodní hlavy a z drapakových ramen. V hlavě drapaků je umístěn elektromotor, který ovládá mechanickým, nebo hydraulickým způsobem obě čelisti. [3]



Obrázek 7 Hydraulický drapak [10]

1.2.4 Kleště

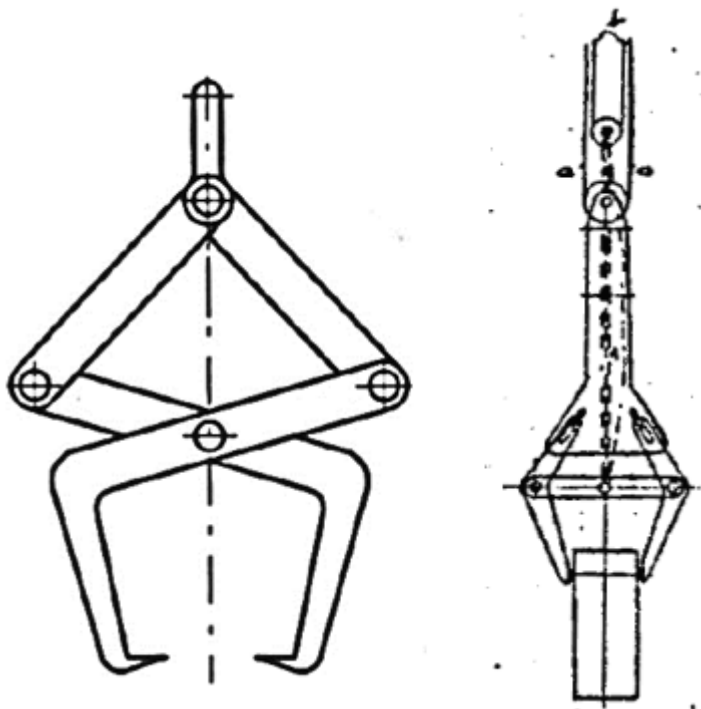
Kleště využívají princip pákové samosvornosti ke zvedání různých břemen. Hlavním omezením je rozsah rozevření kleští. V praxi najdeme různé typy těchto manipulátorů, které bývají často přizpůsobeny konkrétnímu typu břemene (kleště na sudy, kleště na obrubníky apod). [3]

Kleště neovládané vyvozují svěrací sílu pomocí vlastní tíhy břemene. Používají se při manipulaci se studenými břemeny. Výhodou je jednoduchá konstrukce a bezpečnost při zdvihu. Hlavní nevýhodou je nutnost obsluhy při rozevírání kleští. Naklonění břemene je možné pouze po jeho dosednutí na pevnou podložku. [3] [9]

Kleště ovládané mají již složitější mechanismus. Jsou opatřeny trubkou nesenou vodícím příčnickem, který na konci uchycuje ocelolitínovou hlavu. V této hlavě jsou šikmé výřezy, ve kterých klouzají čepy kleštín. Vodící příčník je pomocí čepů zavěšen na speciálně upraveném zdvihacím mechanismu kočky. Konstrukce kleštín je spojena pomocí vodorovné pásnice, na které je upevněn řetěz a lanový závěs, který je opět zavěšen na zdvihacím mechanismu. [3]

Rozevření kleštín je vyvoláno pomocí zdvihnutí pásnice, která následně vyvolá posun čepů kleštín do horní polohy výřezů. Zvedání a spuštění kleštín je ovládáno pomocí dvou systémů

lan. Pomocí povolení lan dolehnou otevřené kleště na zdvihané břemeno, přičemž lana jsou povoleny tak, aby došlo k jejich mírnému průvěsu. Poté jsou lana navíjena na buben, a přitom dojde z důvodu průvěsu nejdříve k posunu kleštin ve výřezech vodící hlavy a následně k jejich sevření. Kleštiny jsou poté zvedány společně s břemenem. [3]



Obrázek 8 Kleště neovládané a ovládané [9]

1.2.5 Přísavné a vakuové manipulátory

Tento typ manipulátoru je používán hlavně pro zvedání a přemísťování plechů a podobných plochých břemen s neprodyšnými povrchy, a to pomocí vakua. Konstrukce se skládá z pevného rámu, na kterém je upevněn určitý počet přísavek. Pevný rám může v určitých případech obsahovat otočné zařízení, které umožňuje naklápění. Přísavky lze u některých typů odpojit pomocí uzavíracího ventilu, díky čemuž jsme schopni měnit jejich aktuální počet. [1]

Hlavní výhodou je snadné a rychlé uchycení, nepoškození povrchu přemísťovaného dílce, a také možnost přemístit nejrůznější materiály, jako je sklo, ocel, nerosty a podobně. Mezi nevýhody se řadí špatná přilnavost u znečištěných a hrubých povrchů. Dalším častým problémem je krátkodobá životnost. [1]

Samonasávací manipulátory

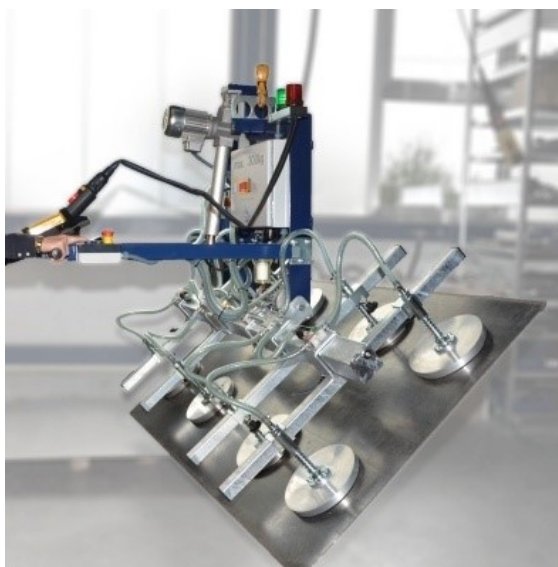
Samonasávací manipulátor je bezobslužný. Ovládán je pouze posuvný jeřáb nebo kladkostroj, na kterém je přichycen, a to pomocí ručního ovladače. Pojezd je většinou poháněn elektromotorem. Potřebný podtlak je vyvolán účinkem břemene. Kvůli bezpečnosti je manipulátor vybaven manometrem a elektronickým výstražným zařízením, které pomocí akustické a optické signalizace upozorní obsluhu na případnou ztrátu podtlaku. [1] [11] [12]



Obrázek 9 Vakuový samonasávací manipulátor [13]

Elektrické vakuové manipulátory

Zpravidla jsou využívány tam, kde nejsou dostačující manipulátory samonasávací, a to kvůli povaze povrchu, větší prodyšnosti (např. silná koroze, dřevo apod.), velké hmotnosti břemene a podobným faktorům. Přísátí a uvolnění břemene je vyvozeno ventilem, který je ovládán ručním, nebo automatickým způsobem. Kvůli bezpečnosti jsou opět opatřeny bezpečnostními prvky (manometry, světelné prvky apod.)



Obrázek 10 Elektrický vakuový manipulátor [14]

1.2.6 Magnetické manipulátory

Břemenové magnety jsou nejpoužívanějším typem manipulátorů, a to z důvodu jejich univerzality. Lze jimi přepravovat jakýkoliv vodivý materiál, který může mít i vyšší teplotu (až 500 °C). Při vyšších teplotách totiž klesají magnetické vlastnosti oceli, tedy i účinnost manipulátoru. [3]

Mají buď kruhový, nebo obdélníkový tvar. Jejich konstrukce se skládá z ocelolitinových těles, ve kterých je vytvořen prostor pro umístění jednoduchých, nebo dvojitých cívek s póly. Cívky jsou vinuté z mědi, nebo hliníku a jsou zakryty pomocí bronzové, nebo feromagnetické desky, která je chrání proti vnějším nečistotám a mechanickému poškození. [3]

Fungují na principu magnetického pole, které je vytvořeno pomocí přivedení elektrického proudu do elektromagnetu. Jejich největší účinnost je u bloků se souvislým průřezem, kde mohou siločáry dokonale procházet. [3]

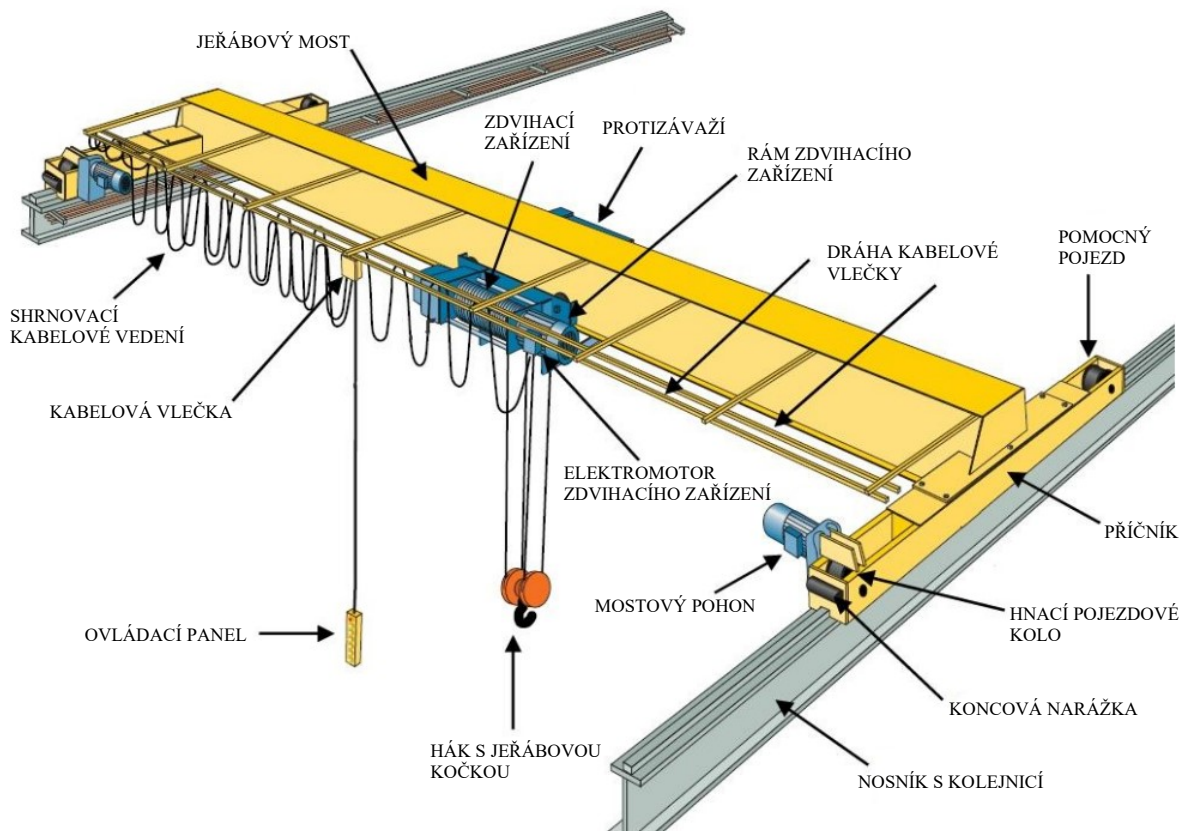


Obrázek 11 Magnet kruhový a obdélníkový [15]

2 JEŘÁBY

Jeřáby jsou již řadu let nejvyužívanější a nejvšestrannější skupinou zvedacích a manipulačních zařízení. Najdeme je téměř v každém průmyslovém odvětví. Využívají se ke zvedání a přemísťování těžkých a rozměrných břemen. Jejich předností je úspora prostoru na omezené a stále stejné pracovní ploše, kde vykonávají cyklické pohyby. Jsou charakteristické značnou nosností, zdvihem ve vertikálním směru a posuvem ve směru horizontálním.

Volba konkrétního typu jeřábu a jeho konstrukce je závislá především na průměrné a maximální hmotnosti břemene, potřebném výkonu jeřábu a manipulačním prostoru. Všechny typy jeřábů, až na určité výjimky (vozidlové jeřáby), jsou charakteristické svou ocelovou konstrukcí, podle které jsou také pojmenovány. Na této konstrukci jsou upevněny mechanismy, které zajišťují celkový pracovní cyklus. Jedná se o různé pojezdy, otáčecí, sklápěcí, zdvihací a zabezpečovací mechanismy apod. Za zmínku také stojí fakt, že moderní jeřáby jsou ovládány dálkově, což slouží k přesnému usazení břemen do míst, kde to v minulosti bylo obtížné. [1] [4]



Obrázek 12 Popis částí mostového jeřábu [16]

2.1 Rozdělení jeřábů podle různých kritérií

a) Podle tvaru nosné konstrukce a umístění:

- mostové,
- věžové,
- sloupcové,
- nástěnné a konzolové,
- portálové a polo-portálové,
- lanové,
- vozidlové (mobilní),
- speciální.

b) Podle druhu pohybu jeřábu, nebo jeho částí:

- stacionární (nepojízdné),
- pojízdné,
- otočné,
- plovoucí,
- se sdruženými pohyby.

c) Podle druhu pohonu:

- ručně,
- elektricky,
- hydraulicky,
- pneumaticky,
- spalovacím motorem,
- kombinovaně (sdružený pohyb). [4]

2.2 Tažné a vázací prvky

Dělí se na ocelová lana, řetězy a textilní vázací prostředky. Zpravidla se jedná o nekonečný prvek navinutý na bubnu, který plní nosnou a tažnou funkci. [2]

2.2.1 Ocelová lana

Ocelová lana jsou vyrobena z tažených ocelových drátů, které jsou vinuty v prameny. Jsou charakteristická svou pevností, průměrem, jmenovitou únosností a konstrukcí. Podle počtu pramenů je dělíme na jednopramenná, pramenná (prameny jsou vinuty v jedné vrstvě), nebo mnohopramenná (prameny jsou vinuté ve více vrstvách). Vinutí je buď pravé, nebo levé. Uchycení konců lan je řešeno buď s nastavitelnou délkou, nebo bez možnosti jakékoliv úpravy délky. Požívají se například lanové svorky, objímky, zapletená oka apod. [2]

Pohyblivá a nepohyblivá

Pohyblivá ocelová lana se používají u jeřábů, výtahů, navijáků apod. Skládají se z ocelových drátků, které jsou spleteny do pramenů, ze kterých je následně vinuto lano. Nepohyblivá lana jsou například kotevní, nebo nosná (lanovky). [2]

Podle smyslu vinutí

Stejnoseměrná lana mají shodný smysl vinutí drátu v prameny i pramenů v lano. Jejich výhodou je větší ohebnost a trvanlivost než u lan protisměrných. Nevýhodou je pak jejich častější rozplétání a tvoření smyček při jejich odlehčení, a tím pádem jsou používány výhradně v případech, kdy je lano neustále napjaté. [2]

Oproti tomu protisměrná (křížová) lana mají prameny vinuty opačným směrem jak dráty v pramenech, a proto se používají častěji. Najdeme je hlavně u jeřábů, protože se tak snadno nerozpletou. [2]

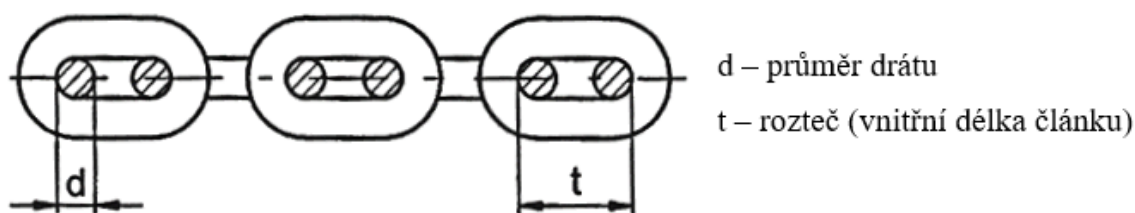
Rozplétání drátů bývá způsobeno jednak jejich opotřebením a zároveň důsledkem elastických deformací, vzniklých při jejich výrobě, a proto jsou používány různé metody pro jejich přeformování. Nejčastěji se dráty před stáčením prohýbají v navzájem kolmých rovinách. Taková lana jsou nazývána umrtvená. [2]

2.2.2 Řetězy

Řetězové vazáky jsou využívány zejména v těžkých provozech náročných na odolnost. Každý řetěz má konstrukčně uspořádané a vzájemně spojené články tak, aby vyhovoval konkrétním požadavkům. U řetězů lze stejně jako u některých typů ocelových lan zkracovat jejich délku pomocí zkracovačů. Jejich výhodou je široký výběr z komponentů, který umožňuje sestavení vhodné konstrukce. Řetězy používané pro zdvihací zařízení se dělí na článkové a sponové. [2] [9] [17]

Článkové řetězy

Tento typ řetězu je vyráběn v normalizovaných délkách. Články jsou buď kované, nebo svařované, tedy nerozebíratelné. Řetězy mohou být kalibrovány se zaručenými vlastnostmi, nebo nekalibrovány. Jsou charakteristické svou pevností, jmenovitým průměrem a roztečí. Nejčastěji se využívají ve vázací jeřábové technice a u elektrických a ručních kladek. [2] [9]

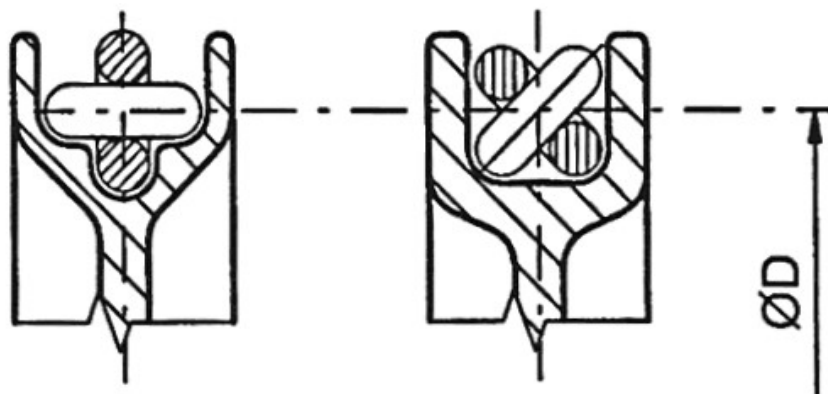


Obrázek 13 Svařovaný článkový řetěz [9]

Použití článkových řetězů u kladek

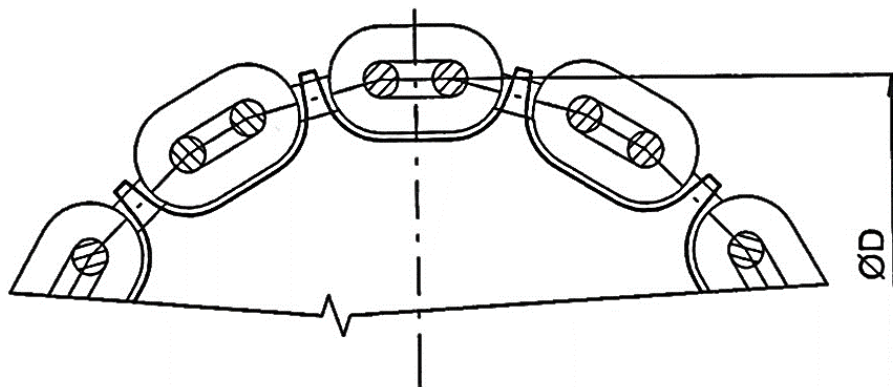
Tvar článků řetězu je přizpůsoben tak, aby byl jednoduše vyrobitelný a také aby dokonale dosedl na funkční plochu kladky. Kladky se dělí na vodící a hnací.

Vodící kladky mají průřez, který kopíruje skládání článků řetězu. Jejich účinnost je v rozmezí 0,95-0,96. [9]



Obrázek 14 Vodící kladka [9]

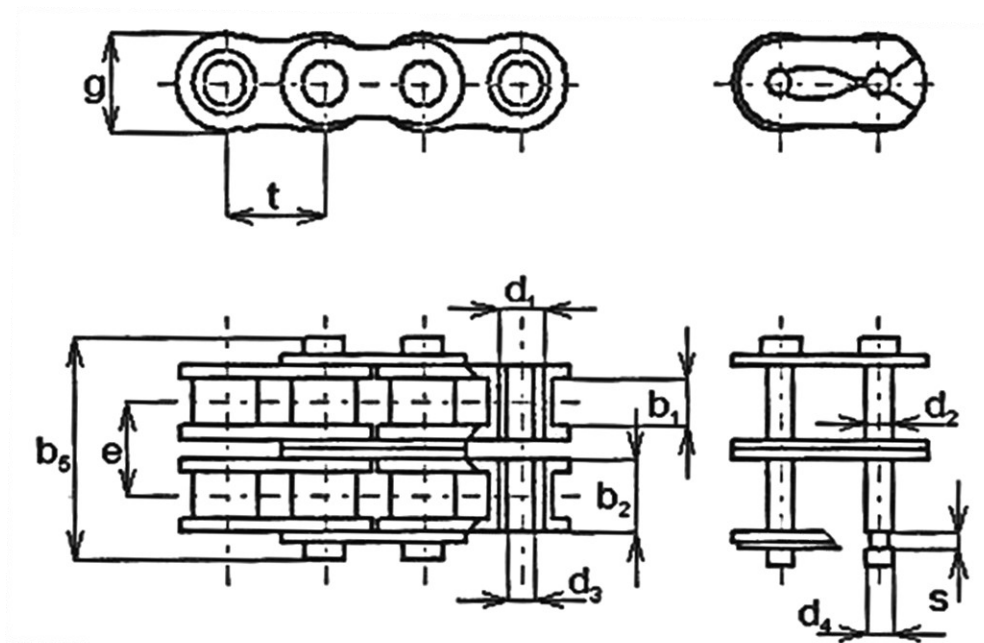
Hnací kladky mají vytvořena lůžka se zuby, do kterých články zapadají. S menším počtem zubů se zvyšují dynamické rázy a celkový chod hnací kladky je tím pádem nerovnoměrnější. Účinnost hnací kladky je v rozmezí 0,93-0,94. [9]



Obrázek 15 Hnací kladka [9]

Sponové (kloubové) řetězy

Sponové řetězy se skládají z rovinných destiček, které jsou uloženy na ocelových čepích. Čep může být rozkýtnován a tím pádem se řetěz stává nerozebíratelný, nebo je zajištěn závlačkou a řetěz lze rozebrat. Díky unašečům tvoří řetězy nekonečný ohebný pás v jedné rovině. Používají se pro výtahy, ruční kladkostroje a jako řetězy transportní (dopravníky). [2]



Obrázek 16 Dvouřadý válečkový řetěz [9]

2.2.3 Textilní vázací prostředky

Textilní prostředky lze nalézt téměř ve všech průmyslových oblastech při zvedání, spouštění a zavěšování břemen. Jejich předností je nízká hmotnost, která obsluhuje usnadňuje práci. Nejčastěji jsou zhotoveny z polyamidových, polyesterových a polypropylenových vláken. Jsou charakterizovány šířkou a délkou pásu. Vyrábí se v nejrůznějších provedeních. Těmi hlavními jsou nekonečné smyčky, ploché popruhy s oky a nekonečné ploché popruhy. Popruhy mohou být opatřeny kovovými díly, které umožňují lepší uchycení. [3] [18]



Obrázek 17 Přehled textilních vázacích prostředků [19]

3 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ LASEREM

Jedná se o nekonvenční metodu obrábění, která se od klasického konvenčního obrábění liší především tím, že zde není pro úběr materiálu využita mechanická práce, ale fyzikální principy a vlastnosti, které ovlivňují a limitují celkovou obrobiteľnosť. V dnešní době jsou kladeny vysoké nároky na efektivní obrábění materiálů s vysokou pevností a tuhostí (např. superslitiny, kompozity). Díky tomu se do popředí dostaly nekonvenční způsoby obrábění, které jsou v těchto ohledech účinnější. [20]

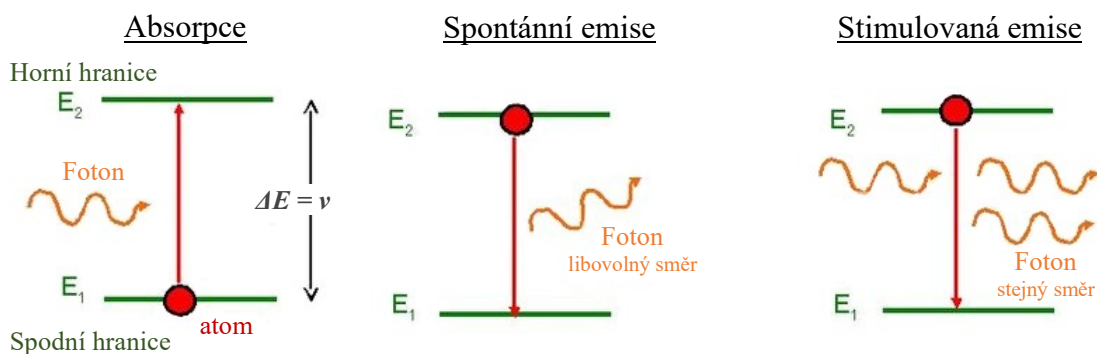
Laserové řezání je stěžejní výrobní technologií, která je potřebná pro výrobu kleští. Pomocí laseru budou vyrobeny ramena kleští, společně s uchopovacími plechy a dalšími přídatnými prvky, a proto je tato technologie zařazena do této bakalářské práce.

Technologie obrábění laserem:

- značení a popisování,
- řezání,
- vrtání,
- mikro-obrábění,
- soustružení a frézování,
- odjehlování obroběných součástí,
- lámání mechanických třísek při mechanickém obrábění,
- dokončování povrchů – nanášení speciálních vrstev. [20]

3.1 Vznik laserového záření

Základem pro vznik laserového záření je aktivní prostředí zvané médium, které má schopnost zesilovat jím procházející záření díky takzvané stimulované emisi. Jedná se o fyzikální jev, který nastane při interakci fotonu s atomem, popřípadě molekulou. Obecně jsou rozeznávány tři základní typy interakcí. Jedná se o absorpci, spontánní emisi a stimulovanou emisi záření. [21]



Obrázek 18 Základní typy interakcí fotonu [21]

3.2 Princip laseru

Kromě aktivního prostředí, ve kterém dochází k absorpci a emisi fotonů jsou potřeba další součásti laserového zdroje. Mezi ty patří zdroj energie, který zajišťuje přebytek částic ve vyšším energetickém stavu. Dále je zapotřebí optický rezonátor, který se skládá ze zadního plně odrazného zrcadla a předního polopropustného zrcadla. Rezonátor slouží k dosažení vyššího počtu stimulovaných přechodů oproti spontánním přechodům. Záření, které se odrazí od zrcadla poté vstupuje zpět do aktivního prostředí a slouží jako podnět další stimulované emise. Jakmile tento svazek dosáhne požadované intenzity, projde polopropustným zrcadlem do optického systému. [21]

Důležitou komponentou je také optická soustava, kterou lze charakterizovat jako soustavu čoček a clon. Tato soustava se používá pro úpravu kvality průměru svazku. Zároveň tento tzv. expander slouží k eliminaci divergence (rozbíhavosti) svazku. Optická soustava sice snižuje účinnost laserového zdroje, ale ve většině případů je důležitější právě kvalita laserového svazku. Takto upravený svazek je následně soustavou zrcadel a čoček (případně optickým vláknem) veden do tzv. laserové hlavy a jejím prostřednictvím je poté aplikován do konkrétního místa. [21]

3.3 Lasery

Lasery lze rozdělit podle mnoha kritérií. Ve strojírenství se rozdělují na pulzní a s kontinuálním výkonem. Rozmezí výkonů laserů ve strojírenském odvětví je od 1 do 20 kW. Výkonem se rozumí celková energie vyzářená ve formě laserového světla za jednu sekundu. Nejvíce používané jsou typy založené na plynném médiu a to CO₂ lasery a Nd:YAG lasery. Nevýhodou CO₂ laserů je vedení svazku pomocí zrcadel a hranolů. Mnohem praktičtější je totiž vedení pomocí optických vláken. [20]

V současné době jsou nároky tak vysoké, že bylo zapotřebí zavést nové typy laserů. Jedná se o lasery vláknové, diodové a diskové. Diodové lasery jsou používány pro kalení a nanášení vrstev a společně s vláknovými lasery je jejich vývoj tak intenzivní, že začínají nahrazovat desítky let používané zdroje, navíc i jejich životnost je řádově vyšší. Diskové lasery jsou používány pro svařování. Jejich nevýhoda je vysoká pořizovací cena a provozní náklady. Hlavní výhoda těchto druhů laserů spočívá v jejich účinnosti, která je oproti CO₂ a Nd:YAG laserům až o 30% vyšší. Klesá tedy spotřeba energie a tím pádem jsou cenově konkurenceschopné konvenčním technologiím. Dle aktivního prostředí se dělí na pevnolátkové, plynové, kapalinové a polovodičové. [20]

Tabulka 1 Srovnání laserů [20]

Typ laseru	CO ₂	Nd:YAG	Diodový	Vláknový	Diskový
Vlnová délka (nm)	10 600	1064	808-1030	1070	808-1030
Absorpce	nízká	vysoká	vysoká	vysoká	vysoká
Elektrická účinnost	10-15 %	2-5 %	25-35 %	25-30 %	15 %
Vedení paprsku	přes zrcadla	vláknem	vláknem	vláknem	vláknem
Maximální výkon	20 kW	6 kW	20 kW	50 kW	4 kW
BPP (pro 4-5 kW)	6	25	44	Do 2.5	8
Životnost (hod)	5.000	10.000	100.000	100.000	10.000
Prostor (m²)	3	6	do 1.5	do 1	nad 4

3.4 Řezání laserem

Laser se vyznačuje rychlým řezáním kovových, nekovových a kompozitních materiálů s vysokou přesností a hladkým povrchem bez okují. Kromě metody řezání lze vytvořit

drážku, díky které se materiál následně zlomí kontrolovaným lomem (pro křehké materiály). Hrany řezaných polotovarů jsou kolmé i při větších tloušťkách. Kromě odjehlení hran nejsou v běžných případech potřebné žádné další úpravy povrchu. Hloubka řezu závisí na výkonu laserového svazku a na druhu řezaného materiálu. Ve strojírenské praxi se až na výjimky používají lasery s výkonem do 20 kW. [20] [21] [22]

Existuje mnoho nekonvenčních metod dělení materiálu. U obloukových a plamenových metod jsou hlavními nevýhodami nižší přesnost a tepelné ovlivnění okolí řezu. Přesnější je například elektrojiskrové obrábění, které je ale v mnoha případech velmi neproduktivní (kusová výroba). Z hlediska tepelného ovlivnění materiálu je proto používán vodní paprsek, který ale nelze použít pro materiály, jež jsou náchylné ke korozi, nebo pro 3D řezání. Z toho vyplývá, že laserové řezání je v sériové výrobě téměř bezkonkurenční. [20] [21] [22]

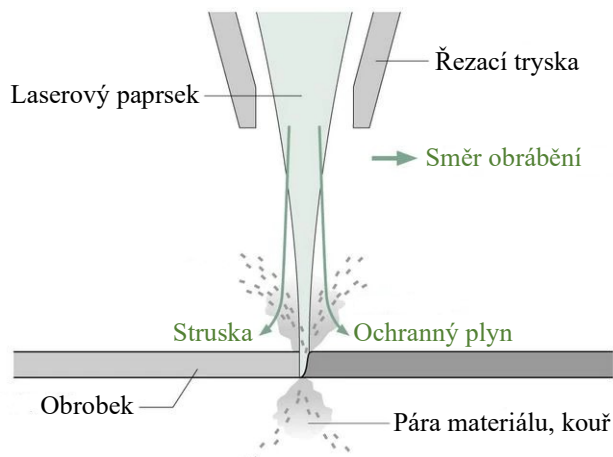


Obrázek 19 Průběh řezání laserem [23]

3.4.1 Způsoby řezání

Sublimační řezání

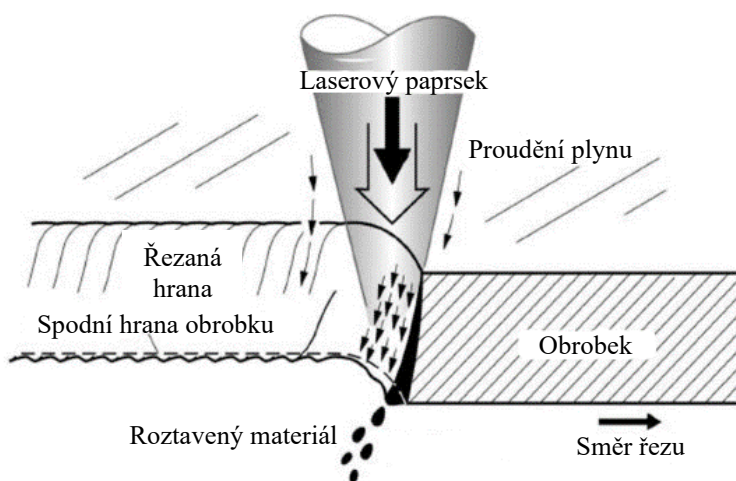
Materiál je odstraňován pomocí odpařování z místa řezu. Pára z materiálu vytváří ve štěrbině řezu vysoký tlak, který taveninu vymrští všemi možnými směry. Plochy řezu jsou od okolního prostředí izolovány pomocí procesního plynu (dusík, argon, helium). Pro obrábění plechů se tato metoda nevyužívá, jelikož je zde velké omezení řezaných tloušťek, je potřeba mít precizně nastavenou optiku a zároveň je nutnost mít vysokou hustotu paprsku. Používá se výhradně pro jemné řezání (lékařská technika). K typickým řezaným materiálům se řadí fólie z plastické hmoty, které se odpařují již při malé energii, a netavící materiály (lepenka, pěna apod.). [20] [24]



Obrázek 20 Sublimační řezání [24]

Tavné řezání

Materiál je v místě řezu roztaven a pomocí asistenčního plynu odfukován směrem dolů. Asistenčním inertním plynem je argon, nebo dusík, který je vháněn do štěrbině pod tlakem 2 až 20 barů a který navíc izoluje řeznou hranu od okolního vzduchu. Výhodou je zde neoxidovaný povrch, který nevyžaduje dodatečné úpravy. Metoda je vhodná pro oceli, hliník, mosaz, měď a pozinkované plechy. [20] [25]



Obrázek 21 Tavné řezání [26]

Řezání pálením

Princip řezání spočívá v ohřátí materiálu na jeho zápalnou teplotu. Následně dochází k přivedení reaktivního plynu, přičemž materiál shoří díky exotermické reakci a z místa je odstraněn díky asistenčnímu plynu. Místo inertního plynu se používá například kyslík. Díky reakci kyslíku s rozžhaveným povrchem dochází k exotermické reakci, podobně jako při metodě řezání kyslíkem vznikne další teplo, které umožňuje zvýšení řezné rychlosti, tedy i produktivity práce. [20]

4 SVAŘOVÁNÍ

Svařování je jedna z nejstarších aplikovaných technologií při zpracování kovů. Uplatňuje se téměř ve všech průmyslových odvětvích, a to například při výrobě ocelových konstrukcí, tlakových nádob, různých typů potrubí, při výrobě zařízení a strojů apod. Jedná se o spojování kovových a některých nekovových dílců a součástí v nerozebíratelný celek. Tento celek může být hotovým výrobkem nebo polotovarem připraveným pro další zpracování. [27]

Hlavní podstatou svařování je vytvoření metalurgického spojení. K vytvoření svarového spoje je zapotřebí vynaložení určité energie, která může být mechanická, tepelná nebo jejich kombinace. Základním předpokladem pro zhotovení kvalitního svarového spoje je použití svařitelných materiálů s kombinací vhodného postupu a metody svařování. Podle způsobu vynaložené energie se dále svařování dělí na tlakové a tavné. [27] [28] Tavné svařování (konkrétně obloukové) bude využito pro spojení chapačů sudů s ocelovou konstrukcí kleštin.

4.1 Svařitelnost

Je to schopnost materiálu vytvořit technicky odpovídající svarový spoj s požadovanými vlastnostmi. Kovový materiál je považován za svařitelný do určitého stupně při daném způsobu svařování a pro daný účel svařování. Z pohledu strojírenské technologie je svařitelnost uváděna jako komplexní charakteristika materiálu, která vyjadřuje za daných podmínek jeho vhodnost pro vytvoření spoje předepsané jakosti. [27] [28]

Svařitelnost určují následující faktory:

- Vhodnost kovu na svařování;
- Technologická možnost svařování;
- Konstrukční spolehlivost svarového spoje. [27]

4.2 Obloukové svařování

Obloukové svařování je v současnosti nejvyužívanější metodou. Zdrojem tepla pro tavení je elektrický oblouk, který hoří mezi elektrodou a základním materiálem, zapojenými na vhodný elektrický zdroj. Elektroda může být netavná (wolframová, uhlíková), nebo kovová. Kovová elektroda se odtavuje a tím vytváří svarový kov, který spojuje natavené svařované díly. [28]

Je důležité, aby se elektroda posouvala do místa svaru takovou rychlostí, aby měl oblouk stálou délku. Zároveň je elektroda posouvána podél svaru. Při ručním svařování koná oba tyto pohyby svářeč. Při svařování poloautomatickém je elektroda do svaru přiváděna automaticky (strojně). Pokud jsou oba pohyby vykonávány strojně, jde o svařování automatické. Průmyslový vývoj se čím dál více zaměřuje na robotizaci svařování. [28]

4.3 Elektrický oblouk

Při dotyku elektrody se základním materiálem dochází ke zkratu, při kterém se místo styku rozžhává elektrickým odporovým teplem. Při oddálení elektrody (katody) následně dochází k emisi elektronů, které jsou přitahovány základním svařovacím materiálem (anodou). Následně jsou elektrony urychlovány a tím způsobí ionizaci vzduchové mezery, ta se stane vodivou. Tento jev nastává díky vlivům vzniklého elektrického pole. Pro udržení ionizace je zapotřebí určitý potenciální spád, nazývaný napěťový oblouk. Celý tento dlouhodobý elektrický výboj v plynném prostředí nazýváme elektrický oblouk. [28]

4.4 Zdroje svařovacího proudu

Při svařování elektrickým obloukem je možnost výběru mezi stejnosměrným a střídavým elektrickým proudem. Zdrojem svařovacího proudu jsou svářečky, které elektrický proud vyrábí, nebo mění elektrickou energii odebíranou ze sítě na vhodnou hodnotu poměru napětí a proudu z hlediska energetického a bezpečnostního tak, jak vyžaduje svařovací proces. Zdroje jsou opatřeny regulačním ústrojím, pomocí kterého jsou nastavovány optimální parametry. Používají se rotační zdroje (dynama, generátory), transformátory, usměrňovače a elektronické zdroje (invertory, střídače, měniče). [28]

4.5 Technika ručního svařování elektrickým obloukem

Elektrický proud je pomocí měděných drátů přiváděn od svařovacího zdroje směrem k držáku svařovací elektrody a k základnímu materiálu. Polarita je při svařování řízena druhem použité elektrody a konkrétní metodou svařování. Jeden pól je pomocí upínek připevněn k základnímu materiálu a druhý na držák elektrody. Držák elektrody s izolovanou rukojetí je konstruován tak, aby byl schopen umožnit rychlé upnutí elektrody a zároveň umožnit dobrý kontakt. [28]

Rozhodujícími parametry, které ovlivňují výslednou kvalitu svaru, jsou průměr elektrody, svařovací proud, délka oblouku a rychlost svařování. Při obloukovém svařování

je vyžadována přesná příprava svarových ploch podle výkresové dokumentace. Úkosy jsou předem připraveny řezáním kyslíkem nebo na hoblovacích strojích. Ustavení součástí do svařovací polohy je prováděno upínkami nebo krátkými bodovými svary. [28]

5 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ

Pomocí technologie ohýbání budou vyrobeny uchopovací pásoviny, které budou obepínat a svírat sud. V této kapitole jsou rozebrány faktory ovlivňující výsledný produkt a konkrétní použita technologie ohybu, tedy zakružování.

Ohýbání je proces, při kterém vlivem působení ohybového momentu od ohybové síly dochází k trvalé změně tvaru polotovaru. Při této technologii nedochází k podstatné změně průřezu polotovaru, a proto ji řadíme do kategorie plošného tváření. [29]

5.1 Technologické parametry ohýbání

Proces ohýbání doprovází technologické parametry, na které je potřeba brát velký ohled, jelikož by při jejich nedodržení vznikl výrobek s chybnými tolerancemi a rozměry. [29]

5.1.1 Poloměr ohybu

Nejmenší dovolený poloměr ohybu

Je to nejmenší vnitřní poloměr ohybu, při kterém ještě nedochází k porušení materiálu. Tahové napětí ve vnějších vláknech nesmí překročit jejich pevnost. Důležitá je zde především orientace ohybu ke směru válcování. Pokud je osa ohybu orientována ve směru vláken, pak je minimální poloměr ohybu přibližně dvakrát větší než při kolmé ose ohybu na směr vláken. [29]

Největší poloměr v ohybu

Aby nedošlo pouze k pružnému prohnutí materiálu a k jeho následnému narovnání do původního tvaru, musí v krajních vláknech průřezu dojít k trvalé deformaci. [29]

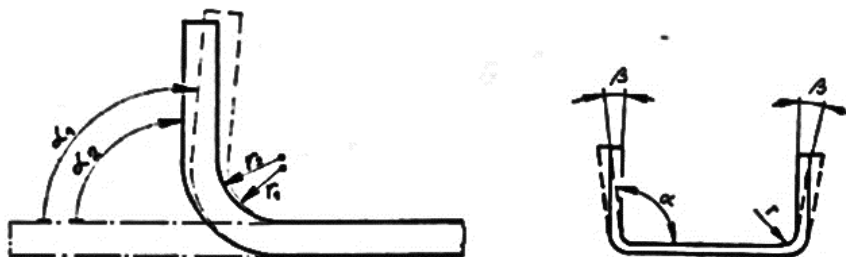
5.1.2 Ztenčení stěny v místě ohybu

Ztenčení stěny se zvětšuje s větším úhlem ohybu, větším třením mezi materiálem a nástrojem, menším poloměrem ohybu a s méně tvárným materiálem. Předjetí ztenčení stěny lze díky vytvoření zásoby materiálu před ohybem. [29]

5.1.3 Odpružení po ohýbání

Při každém tváření za studena vzniká odpružení vlivem pružných napětí. Velikost odpružení se zvětšuje s tvrdšími materiály a větším poloměrem ohybu. Naopak s rostoucím úhlem ohybu se odpružení zmenšuje. Odpružení lze zabránit, nebo téměř vyloučit díky vyztužení

v místě ohybu pomocí žeber, pružným předehtnutím dna, nebo kalibrací rohů. Při ohybech velkých poloměrů se zamezuje odpružení tím, že se materiál současně s ohýbáním natáhne o 2 až 4 % své délky. [29]



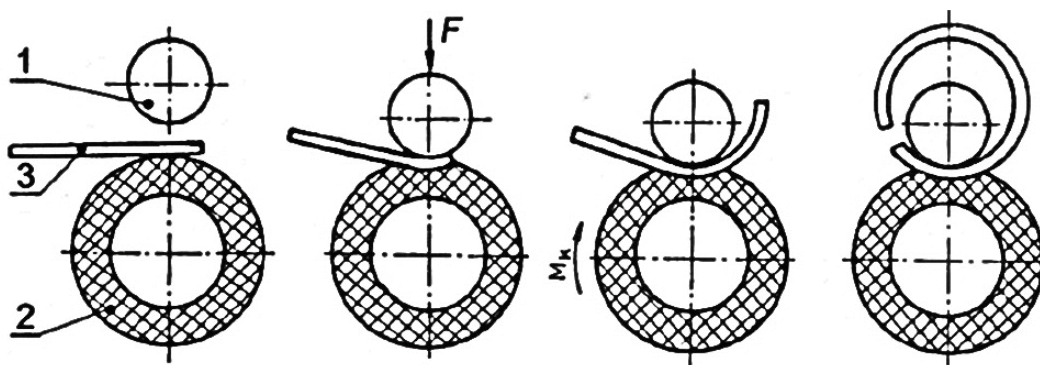
Obrázek 22 Odpružení po ohýbání [29]

5.1.4 Zbytková pnutí

Pnutím v materiálu jsou zde myšlena vlákna nepružná (trvale deformovaná), která při postupném odlehčování brání vláknům pružným získat svou původní délku. V tažených vláknech (na vnější straně) vznikají po odlehčení tlaková pnutí, naopak na vnitřní straně vznikají zbytková pnutí tahová. Tato pnutí mají následně vliv na pevnost ohnuté součásti. [29]

5.2 Zakružování

Jedná se o tváření rovinné, nebo členité plochy za účelem vzniku plochy válcové, kuželové, šroubové, nebo jejich částí. Místo plastické deformace materiálu se při zakružování mění. K zakružování se používají válce, nebo tvarové kotouče. Podle jejich polohy os jsou zakružovačky rozděleny na symetrické a nesymetrické. Obrázek 23 popisuje části dvojválcové zakružovačky a celkový proces zakružování. (1 – tuhý válec, 2 – elastický válec, 3 – plech). [29]



Obrázek 23 Princip práce dvojválcové zakružovačky [29]

6 BEZPEČNOST PRÁCE PŘI MANIPULACI

Samosvorné kleště budou využívány ke zvedání sudů a nádob (viz výkres dispozice), a proto je potřeba dbát na bezpečnost práce při celkovém pracovním procesu. Pro konkrétní případ této bakalářské práce jsou největší rizika úrazu pro vazače a osoby pohybující se v blízkém okolí.

6.1 Nejčastější příčiny pracovních úrazů při manipulaci s břemeny

- Pád břemene,
- přímý kontakt s břemenem,
- nadměrné úsilí při manipulaci,
- nevhodné podmínky na pracovišti,
- nedodržování zásad bezpečné práce. [30]

6.2 Přemístění sudů a nádob k pracovní ploše

Při přemístění sudů a nádob je vhodné použít speciální zařízení, které usnadňuje naložení a bezpečný přesun na určené místo. Zařízení by navíc mělo být opatřeno vázacími prostředky (řetízky, objímky apod.) proti případnému uvolnění a překlopení. Sudy vezeme vždy před sebou, abychom měli výhled na cestu. [30]



Obrázek 24 Vozík na kanystry [31]

6.3 Zásady bezpečnostní práce při zdvihání břemen

Níže je uveden výběr z předpisů a zásad při zdvihání břemen, které je potřeba splňovat pro minimální možné riziko úrazu při celkovém pracovním procesu s kleštinami.

- Při zdvihání břemene musí osoby, které se nachází ve spodním patře, dodržovat dostatečný odstup a zároveň musí být maximálně obezřetné.
- Obsluha musí nosit ochrannou přilbu.
- V pracovním prostoru zdvihacího zařízení musí být umístěna cedule “zákaz vstupu nepovolaným osobám“.
- Je potřeba zajistit, aby břemeno, ani vázací lano nepřišlo do styku s jinými překážkami.
- Neuvazovat břemena přes ostré a špičaté hrany.
- Nepřetěžovat hmotnost zdvihací techniky a vázacích prostředků.
- Nenechávat zavěšené břemeno bez jakéhokoliv dozoru.
- Nezavěšovat se na břemeno, nepřidržovat břemeno rukou pro vyvážení rovnováhy.
- Nedeformovat ani jakýmkoliv způsobem neupravovat závěsný hák. Nezavěšovat břemena na dvojitý hák jednostranně.
- Nezkracovat závěsná a vázací lana například pomocí uzlů, případně jiných způsobů.
- Nezavěšovat nádoby, které jsou naplněny přes okraj, aby nedošlo k vyklopení nákladu. [32]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pro tuto bakalářskou práci jsou stanoveny konkrétní cíle. K této kapitole je již jeden z nich splněn, a to vypracování literární rešerše na dané téma. Následuje praktická část, která se odvíjí od těchto bodů:

- proved'te průzkum trhu,
- vytvořte model kleštiny,
- vyhotovte výkresovou dokumentaci k výrobě kleštiny.

Po průzkumu trhu bude nejprve stanoven určitý počet konstrukčních variant dostupných na trhu s konkrétní nákupní cenou. Nejvhodnější konstrukční varianta bude následně vybrána a upravena tak, aby splňovala veškeré stanovené požadavky.

Aby bylo možné vytvořit model kleštiny, je zapotřebí provést konstrukční návrh, konstrukční výpočty a následné pevnostní kontroly. Rovněž bude vyhotovena výrobní výkresové dokumentace, podle které bude kleština vyrobena odzkoušena v praxi.

Na závěr budou spočítány celkové výrobní náklady. Díky nim bude následně určena tržní cena, která se porovná s nákupními cenami získanými během průzkumu trhu.

8 VÝBĚR A HODNOCENÍ IDEÁLNÍ VARIANTY

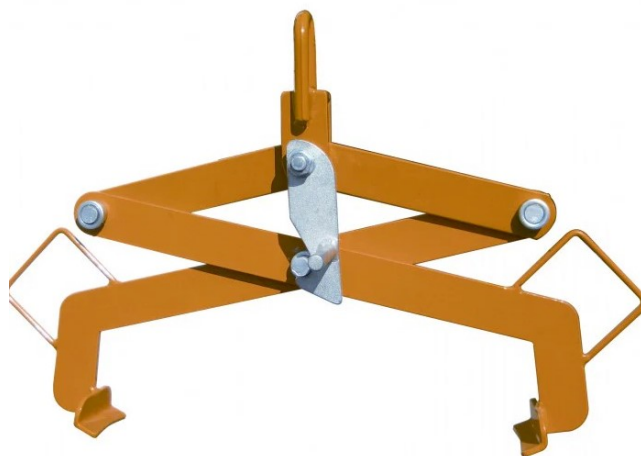
Po důkladném průzkumu trhu jsou vybrány čtyři podobné konstrukční řešení, které umožňují uchopení stojatých plastových sudů a zároveň jsou schopny ve velké míře splňovat veškeré požadavky. Každá z těchto variant má své výhody a nevýhody. Pro výběr optimální varianty je přihlíženo k tabulce s bodovým hodnocením.

8.1 Popis vybraných variant

Varianta A

Jedná se o nejrozšířenější variantu kleští pro zdvih sudů ve svislém směru, a to z důvodu její jednoduchosti. Kleště lze ustavit v rozevřené poloze díky otočnému plíšku, který plní funkci západky. Pro lepší manipulaci s kleštinami jsou po bocích přivařeny rukojetě. Hlavní nevýhodou je dvoubodové uchycení, které vyvolává větší deformace a vychýlení sudů.

Cena na trhu s DPH: 3 120 Kč



Obrázek 25 Varianta A [33]

Varianta B

Tato varianta je velmi podobná variantě A. Hlavním rozdílem je zde velikost konstrukce, která díky přidavnému otočnému zařízení umožňuje natočení sudu do určité polohy. Tyto kleště se využívají tam, kde je manipulace jiným způsobem zdlouhavá, obtížná a nebezpečná.

Cena na trhu s DPH: 16 928 Kč



Obrázek 26 Varianta B [34]

Varianta C

Varianta C je specifická třibodovými kontaktními zvedacími rameny, která minimalizují vychýlení sudu při zvedání a zároveň snižují jeho deformaci. Nevýhodou je nižší efektivnost oproti ostatním variantám. Vzhledem ke tvaru a celkové stavební výšce konstrukce může být tato varianta velmi nevhodná pro určité tvary sudů.

Cena na trhu s DPH: 8 255 Kč



Obrázek 27 Varianta C [35]

Varianta D

Zvažováno je i konstrukční řešení s přesazenými rameny. Velmi vhodně jsou zhotoveny chapače sudů, které navíc dovolují pomocí pružin mírné naklonění. Nevýhodou může být opět celková výška konstrukce. Zároveň zde chybí západka, která by ustavovala kleště v určité poloze.

Cena není uvedena.



Obrázek 28 Varianta D [36]

8.2 Model zvedaného sudu

Pro představu je uveden model, zhotovený v softwaru Autodesk Inventor Professional 2023. Podle tohoto modelu jsou v následující podkapitole uvažovány hodnotící kritéria. Zároveň jsou díky naměřeným rozměrům sudu zvoleny základní rozměry kleští.



Obrázek 29 Model sudu 150 l

8.3 Srovnání variant

Vybrané varianty jsou bodově ohodnoceny v tabulce pomocí návrhových činitelů [37]. Podle bodů je následně vypočítán průměr, který je brán jako jedním z rozhodujících faktorů.

Stanovená kritéria jsou:

- Cena: velmi důležitá informace pro zákazníka. V úvahu se bere jak nákupní, tak i výrobní cena.
- Bezpečnost: je předpokládáno, že všechny konstrukční varianty jsou správně navrženy a dimenzovány.
- Vyrobitelnost: uvažuje se dostupnost obráběcích, tvářecích, svářecích a dokončovacích zařízení.
- Montáž: uvažují se vlastní schopnosti a dovednosti pro kompletní sestavení konstrukce.
- Efektivnost: jde o rychlost a jednoduchost, s jakými je zařízení schopné pracovat.
- Uchopení sudu: uvažují se přítlačné plochy a celková stabilita při zvedání konkrétního typu sudu (viz. podkapitola 8.2).
- Vhodnost: uvažuje se komplexní vhodnost zařízení pro konkrétní typ sudu (viz. podkapitola 8.2).

Tabulka 2 Bodové hodnocení jednotlivých variant

	Varianta A	Varianta B	Varianta C	Varianta D
Cena	1	3	1	1
Bezpečnost	1	1	1	1
Vyrobitelnost	1	2	2	1
Montáž	1	2	1	2
Efektivnost	1	2	2	1
Uchopení sudu	2	1	2	1
Vhodnost	1	1	2	2
Průměr:	1,14	1,71	1,57	1,29
Celkové pořadí	1.	4.	3.	2.

1 – vyhovuje, 2 – spíše nevyhovuje, 3 - nevyhovuje

8.4 Odůvodnění výběru konkrétní varianty

Díky bodovému hodnocení, tvaru profilu zvedaného sudu a hmotnosti zvedaného sudu je zvolena varianta A, která nesplňuje hlavně představu o uchopení sudu. S ohledem na tuto variantu bude navržen vlastní tvar s konstantním obdélníkovým průřezem a vhodnějším uchopením sudu.

9 KONSTRUKČNÍ NÁVRH KLEŠTÍ

Je vybrána varianta A (viz. kapitola 8), díky které vzniká základní představa konstrukčního řešení. Kleště se budou skládat ze dvou rovných horních rámů s dírami. Tyto rámy budou uchyceny pomocí nosného čepu, na kterém bude upevněn závěs se závitovým okem, které je vhodné pro hák. K rovným ráům budou pomocí dvou bočních čepů připevněna zakřivená ramena kleští, která se budou uprostřed křížit. V místě křížení budou ramena spojena prostředním čepem. Jednotlivé čepy budou proti axiálnímu posunutí zajištěny závlačkami a zároveň budou uloženy v kluzných pouzdrech, které budou ručně nalisovány do otvorů ramen kleští. K zakřiveným ramenům kleští budou přivařeny zakružené pásoviny, které budou mít za úkol co nejlépe uchopit sud. Na pracovní plochu pásovin bude přilepeno pryžové obložení.

9.1 Požadavky na konstrukci

Účelem samosvorných kleští je jednoduché uchopení konkrétního typu břemene s maximální dovolenou hmotností 250 kg a jeho následný zdvih ve svislém směru. Při navrhování tvaru a rozměrů je kladen důraz na jednoduchost, nízkou hmotnost konstrukce a pracovní bezpečnost. Je potřeba, aby byla vyvinuta dostatečná přitlačná síla pro zdvih břemene, která ale při svém působení nijak nepoškodí stěny sudu. Kleště se při práci nesmí deformovat nebo jinak poškodit. Konstrukce musí zároveň splňovat snadnou montáž, demontáž a údržbu.

9.2 Volba materiálu

Ramena kleští

S ohledem na hmotnost zvedaného břemene a dostupné výrobní technologie je zvolena nelegovaná konstrukční jemnozrnná ocel EN S355J0 (ČSN 11 523), vhodná ke svařování. V konstrukčních a kontrolních výpočtech je počítáno s minimální mezí kluzu.

Čepy kleští

Materiál všech čepů je EN 51CrV4 (ČSN 15 260), což je nízkolegovaná konstrukční ocel vhodná pro strojní součásti namáhané staticky i dynamicky. Tato ocel se vyznačuje dobrou prokalitelností. V konstrukčních a kontrolních výpočtech je počítáno s minimální mezí kluzu.

Zakružené pásoviny

U zakružených pásovin jsou hlavními prioritami dobrá tvárnost za studena a svařitelnost materiálu. Polotovar před ohybem bude pásovina o určité délce. Opět je zvolena ocel EN S355J0 (viz. ramena kleští).

Nosný závěs a západka

Je zvolena neušlechtilá ocel EN E295 (ČSN 11 500) vhodná na strojní součásti namáhané staticky i dynamicky, u nichž se nevyžaduje svařitelnost.

Obložení

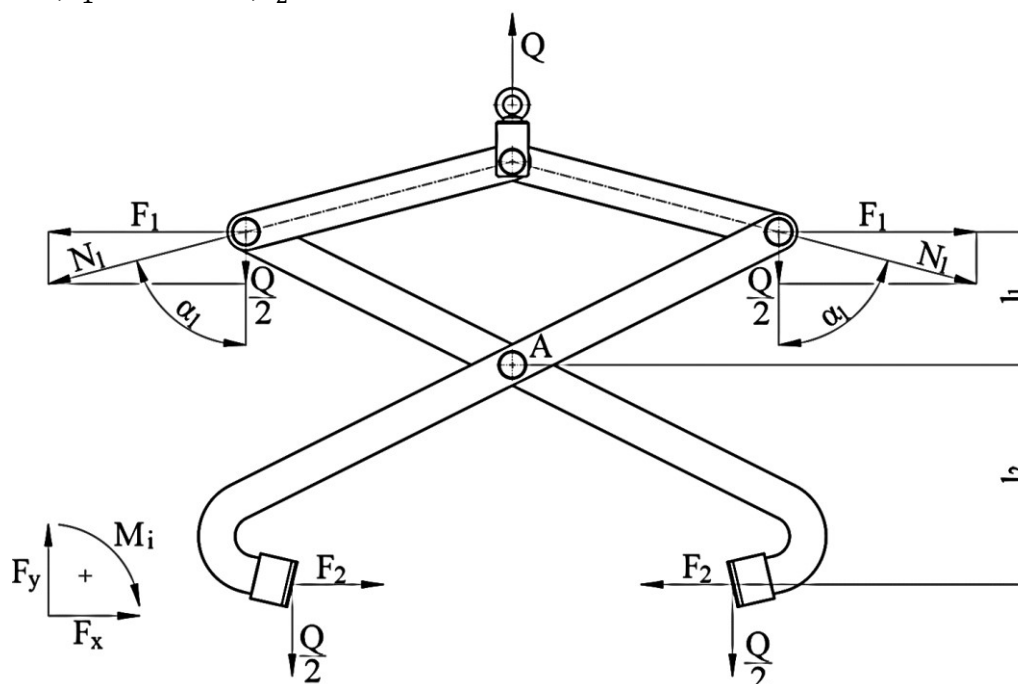
Jelikož je sud vyroben z HDPE, je potřeba předejít přímému kontaktu s ocelí z důvodu možných deformací. Proto bude k zakruženým pásovinám přilepeno pryžové obložení, což je otěruvzdorná pryž na bázi NBR, s vysokou odolností proti chemikáliím.

9.3 Volba základních rozměrů

Základní rozměry jsou zvoleny podle maximálního potřebného rozevření kleští. Mezi nejvíce ovlivňující rozměry jsou uvažovány rozteče čepů (l_1 , l_2) a úhel mezi rámy (α_1) viz obrázek 30. Tyto rozměry byly postupně dosazovány a upravovány tak, aby splňovaly veškeré konstrukční požadavky.

Volím:

$$\alpha = 75^\circ, l_1 = 145 \text{ mm}, l_2 = 230 \text{ mm}$$



Obrázek 30 Schéma rozložení sil

9.4 Výpočet sil působících na kleště

1) Výpočet zdvihové síly Q:

Dáno:

$$m_k = 10 \text{ kg}, m_s = 6 \text{ kg}, m_n = 150 \text{ kg}, g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Volím:

$$k = 1,5$$

$$m_c = m_k + m_s + m_n \quad (1)$$

$$Q = m_c \cdot g \cdot k \quad (2)$$

$$m_c = 10 + 6 + 150$$

$$m_c = 166 \text{ kg}$$

$$Q = 166 \cdot 9,81 \cdot 1,5 = 2\,443 \text{ N}$$

$$Q = 2\,443 \text{ N}$$

Závěr: je uvažována celková hmotnost 166 kg, která je navíc navýšena koeficientem bezpečnosti. Tato hmotnost je pomocí vzorců převedena na maximální zdvihovou sílu Q, která bude následně použita v konstrukčních výpočtech.

2) Výpočet sil působících v bočním čepu

a) Výpočet síly N_1

Dáno:

$$Q = 2\,443 \text{ N}, \alpha = 75^\circ$$

$$N_1 = \frac{Q}{2 \cdot \cos \alpha} \quad (3)$$

$$N_1 = \frac{2\,443}{2 \cdot \cos(75^\circ)}$$

$$N_1 = 4\,719,5 \text{ N}$$

b) Výpočet síly F_1

Dáno:

$$Q = 2\,443 \text{ N}, \alpha = 75^\circ$$

$$F_1 = \frac{\text{tg} \alpha \cdot Q}{2} \quad (4)$$

$$F_1 = \frac{\operatorname{tg}(75^\circ) \cdot 2\,443}{2}$$

$$F_1 = 4\,558,7 \text{ N}$$

3) Výpočet síly F_2 pomocí principu páky

Dáno:

$$Q = 2\,443 \text{ N}, F_1 = 4\,558,7 \text{ N}, l_1 = 145 \text{ mm}, l_2 = 230 \text{ mm}$$

$$\sum M_A = 0 \quad (5)$$

$$-F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2 = 0$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2}$$

$$F_2 = \frac{4\,558,7 \cdot 145}{230}$$

$$F_2 = 2\,873,96 \text{ N}$$

b) Dosazení do rovnice samosvornosti

Dáno:

$$Q = 2\,443 \text{ N}, F_2 = 2\,873,96 \text{ N}, f = 0,43 \text{ (viz. P I)}$$

$$F_{\text{svěření}} \geq F_{\text{břemene}} \quad (6)$$

$$2 \cdot F_2 \cdot f \geq Q$$

$$2 \cdot 2\,873,96 \cdot 0,43 \geq 2\,443 \text{ N}$$

$$2\,472 \text{ N} \geq 2\,443 \text{ N}$$

Závěr: po dosazení hodnot do podmínky samosvornosti je zjištěno, že pevnostní podmínka je splněna. Kleště vyvinou dostatečnou svěrnou sílu pro uchopení a zvednutí břemene.

9.5 Návrh a kontrola bočního čepu kleští

a) Návrh průměru čepu z podmínky na stříh

Dáno:

materiál čepu je ocel EN 51CrV4

$$Q = 2\,443 \text{ N}, R_{e \text{ min.}} = 590 \text{ MPa [38]}, k = 1,6 \text{ až } 1,7$$

$$\sigma_{Dt} = \frac{R_e}{k} \quad (7)$$

$$\tau_{Ds} = 0,6 \cdot \sigma_{Dt} \quad (8)$$

$$\tau_s = \frac{Q}{S} \leq \tau_{Ds} \quad (9)$$

$$\tau_{Ds} \geq \frac{4 \cdot Q}{2 \cdot \pi \cdot d_{\check{c}p1}^2}$$

$$d_{\check{c}p1} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{2 \cdot \pi \cdot \tau_{Ds}}}$$

$$\sigma_{Dt} = \frac{590}{1,65}$$

$$\sigma_{Dt} = 357,58 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ds} = 0,6 \cdot 357,58$$

$$\tau_{Ds} = 214,55 \text{ MPa}$$

$$d_{\check{c}p1} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 2\,443}{2 \cdot \pi \cdot 214,55}}$$

$$d_{\check{c}p1} \geq 2,69 \text{ mm}$$

$$d_{\check{c}p1} = 16 \text{ mm}$$

Závěr: s ohledem na konstrukci a šířku rámu kleští je zvolen průměr bočních čepů

$$d_{\check{c}p1} = 16 \text{ mm}$$

b) Kontrola zvoleného průměru čepu na otláčení

Dáno:

materiál kluzného pouzdra je slinutý bronz EN CuSn10

materiál čepu je ocel EN 51CrV4

$p_D = 40 \text{ MPa}$ [39], $B = 12 \text{ mm}$, $d_{\check{c}p1} = 16 \text{ mm}$, $Q = 2\,443 \text{ N}$

$$p = \frac{Q}{2 \cdot S} \leq p_D \quad (10)$$

$$p = \frac{Q}{2 \cdot d_{\check{c}p1} \cdot B}$$

$$p = \frac{2\,443}{2 \cdot 16 \cdot 12}$$

$$p = 6,36 \text{ MPa}$$

$$6,36 \text{ MPa} \leq 40 \text{ MPa}$$

Závěr: dosazením skutečného tlaku do pevnostní podmínky je zjištěno, že pevnostní podmínka je splněna. Tlak ve stykových plochách nepřesáhne mezní hodnotu.

9.6 Návrh a kontrola prostředního čepu kleští

a) Návrh průměru čepu z podmínky na stříh

Dáno:

materiál čepu je ocel EN 51CrV4

$\tau_{Ds} = 214,55 \text{ MPa}$, $\alpha = 75^\circ$, $l_1 = 145 \text{ mm}$, $l_2 = 230 \text{ mm}$, $Q = 2\,443 \text{ N}$

$$P = \frac{Q}{2} \cdot \frac{l_1 + l_2}{l_2 \cdot \cos \alpha} \quad [40] \quad (11)$$

$$\tau_s = \frac{P}{S} \leq \tau_{Ds} \quad (12)$$

$$\tau_{Ds} \geq \frac{4 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot d_{\text{čp1}}^2}$$

$$d_{\text{čp1}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot \tau_{Ds}}}$$

$$P = \frac{2\,443}{2} \cdot \frac{145 + 230}{230 \cdot \cos(75^\circ)}$$

$$P = 7\,694,86 \text{ N}$$

$$d_{\text{čp2}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 7\,694,86}{2 \cdot \pi \cdot 214,55}}$$

$$d_{\text{čp2}} \geq 4,78 \text{ mm}$$

$$d_{\text{čp2}} = 16 \text{ mm}$$

Závěr: s ohledem na konstrukci a šířku rámu kleští je zvolen průměr prostředního čepu $d_{\text{čp2}} = 16 \text{ mm}$.

b) Kontrola zvoleného průměru čepu na otláčení

Dáno:

materiál kluzného pouzdra je slinutý bronz EN CuSn10

materiál čepu je ocel EN 51CrV4

$p_D = 40 \text{ MPa}$ [39], $B = 12 \text{ mm}$, $d_{\text{čp2}} = 16 \text{ mm}$, $P = 7\,694,86 \text{ N}$

$$p = \frac{P}{S} \leq p_D \quad (13)$$

$$p = \frac{P}{d_{\text{čp2}} \cdot B}$$

$$p = \frac{7\,694,86}{16 \cdot 12}$$

$$p = 40 \text{ MPa}$$

$$40 \text{ MPa} \leq 40 \text{ MPa}$$

Závěr: dosazením skutečného tlaku do pevnostní podmínky je zjištěno, že se jednotlivé hodnoty rovnají. Kombinované zatížení P vychází hlavně ze síly Q , která je dostatečně naddimenzovaná. Proto lze pevnostní kontrolu považovat za splněnou.

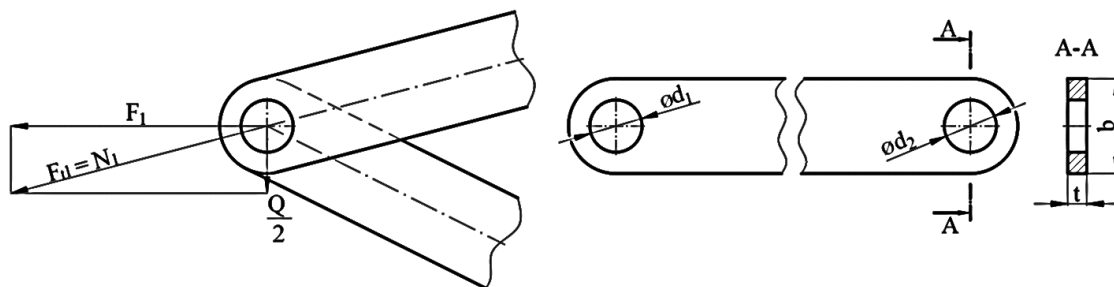
9.7 Návrh a kontrola rovného rámu

Rovný rám bude mít konstantní šířku a tloušťku. V rámu budou pomocí laseru vypáleny dva otvory pro čepy. Tyto otvory oslabují rám při působení tahové síly. Z tohoto důvodu je potřeba tento oslabený průřez zkontrolovat.

a) Návrh rozměrů

Dáno:

$$b = 40 \text{ mm}, t = 8 \text{ mm}, \varnothing d_1 = 22 \text{ mm}, \varnothing d_2 = 22 \text{ mm}$$



Obrázek 31 Působení tahové síly na rovný rám

b) Kontrola nebezpečného průřezu na tah

Dáno:

materiál rámu je ocel EN S355J0

$R_e \text{ min. [38]} = 284 \text{ MPa}$, $k = 1,6$ až $1,7$, $b = 40 \text{ mm}$, $t = 8 \text{ mm}$,

$\varnothing d_1 = 22 \text{ mm}$, $\varnothing d_2 = 22 \text{ mm}$, $N_1 = F_{t1} = 4\,719,51 \text{ N}$

$$\sigma_{Dt} = \frac{R_e}{k} \quad (14)$$

$$\sigma_t = \frac{F}{S} \leq \sigma_{Dt} \quad (15)$$

$$\sigma_t = \frac{F_{t1}}{(b - d_1) \cdot t} \leq \sigma_{Dt}$$

$$\sigma_{Dt} = \frac{284}{1,65}$$

$$\sigma_{Dt} = 172,12 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{4\,719,51}{(40 - 22) \cdot 8}$$

$$\sigma_t = 32,77 \text{ MPa}$$

$$32,77 \text{ MPa} \leq 172,12 \text{ MPa}$$

Závěr: maximální napětí v tahu je 32,77 MPa. Při porovnání skutečného tahové napětí s pevností podmínkou je zjištěno, že pevnostní podmínka je splněna.

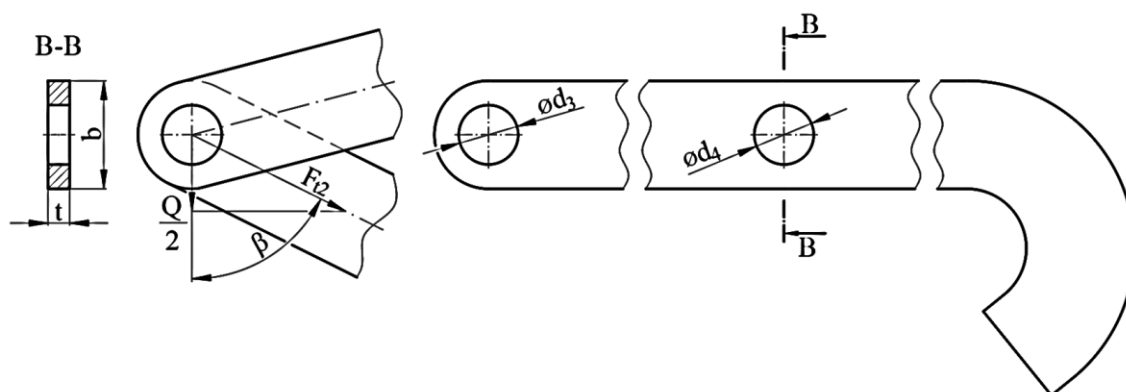
9.8 Návrh a kontrola zakřiveného rámu

Zakřivený rám bude mít stejně jako rovný rám konstantní šířku a tloušťku. V rámu budou pomocí laseru vypáleny dvě díry pro boční a prostřední čepy. Tahová síla působí na tyto díry pod jiným úhlem než u rovného rámu. Navíc na rám působí síly, díky kterým vzniká ohyb v určitém místě.

a) Návrh rozměrů

Dáno:

$$b = 40 \text{ mm}, t = 8 \text{ mm}, \varnothing d_3 = 22 \text{ mm}, \varnothing d_4 = 22 \text{ mm}$$



Obrázek 32 Působení tahové síly na zakřivený rám

b) Kontrola nebezpečného průřezu na tah

Dáno:

materiál rámu je ocel EN S355J0

$$\sigma_{Dt} = 172,12 \text{ MPa}, b = 40 \text{ mm}, t = 8 \text{ mm}, \varnothing d_3 = 22 \text{ mm}, \varnothing d_4 = 22 \text{ mm}$$

$$\beta = 63^\circ 30', Q = 2\,443 \text{ N}$$

$$F_{t2} = \frac{Q}{2 \cdot \cos \beta} \quad (16)$$

$$\sigma_t = \frac{F}{S} \leq \sigma_{Dt} \quad (17)$$

$$\sigma_t = \frac{F_{t2}}{(b - d) \cdot t}$$

$$F_{t2} = \frac{2\,443}{2 \cdot \cos(63^\circ 30')}$$

$$F_{t2} = 2\,737,58 \text{ N}$$

$$\sigma_t = \frac{2\,737,58}{(40 - 22) \cdot 8}$$

$$\sigma_t = 19,01 \text{ MPa}$$

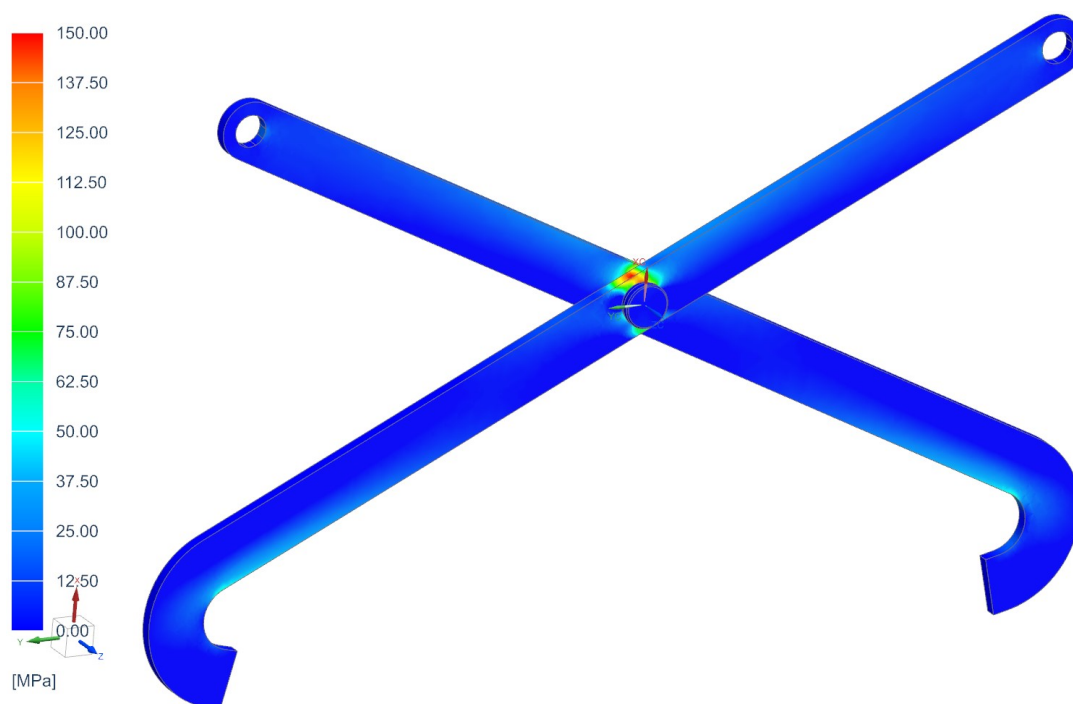
$$19,01 \text{ MPa} \leq 172,12 \text{ MPa}$$

Závěr: maximální napětí v tahu je 19,01 MPa. Při porovnání skutečného tahového napětí s pevností podmínkou je zjištěno, že pevnostní podmínka je splněna.

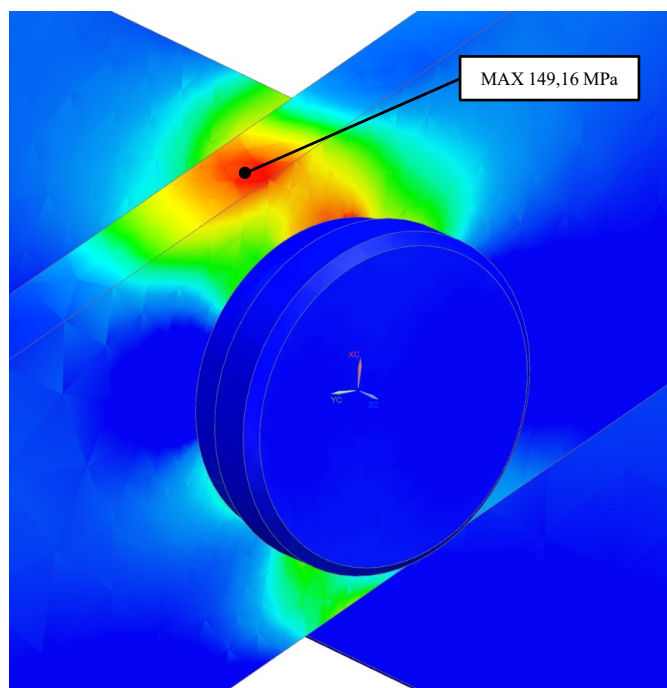
c) Kontrola zakřiveného rámu na ohyb

Pomocí metody konečných prvků je zjištěno nejvíce ohýbané místo zakřiveného rámu. K tomuto místu je počítán součet ohybových momentů, který vyvolávají síly na volném konci zakřiveného rámu.

Pro díry bočního čepu byla použita vazba “pin constraint“ (ta simuluje čepové uchycení). Prostřední čep byl uchycen definovanou vazbou, u které bylo nastaveno zamezení posunutí v ose Z. Ramena kleští byly v příslušném místě zatíženy silami F_2 a $Q/2$.



Obrázek 33 Výsledek simulace FEM analýzy



Obrázek 34 Detail simulace FEM analýzy

Dáno:

materiál rámu je ocel EN S355J0

$b = 40 \text{ mm}$, $t = 8 \text{ mm}$, $l_2 = 230 \text{ mm}$, $l_3 = 280 \text{ mm}$, $\sigma_{D0} = \sigma_{Dt} = 172,12 \text{ MPa}$,

$F_2 = 2\,874 \text{ N}$, $Q/2 = 1\,222 \text{ N}$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{D0} \quad (18)$$

$$\sigma_o = \frac{(F_2 \cdot l_2 - \frac{Q}{2} \cdot l_3) \cdot 6}{t \cdot b^2}$$

$$\sigma_o = \frac{(2\,874 \cdot 230 - 1\,222 \cdot 280) \cdot 6}{8 \cdot 40^2}$$

$$\sigma_o = 149,47 \text{ MPa}$$

$$149,47 \text{ MPa} \leq 172,12 \text{ MPa}$$

Závěr: skutečné ohybové napětí v kritickém místě je $\sigma_o = 149,47 \text{ MPa}$. Tato hodnota je sice velká, ale je potřeba brát v úvahu zatěžující síly, které jsou v tomto výpočtu maximální. Skutečné ohybové napětí je tedy značně nižší. Pevnostní podmínka je splněna.

9.9 Návrh a kontrola nosného čepu s nosným rámem

a) Návrh rozměrů nosného čepu

Nosný čep

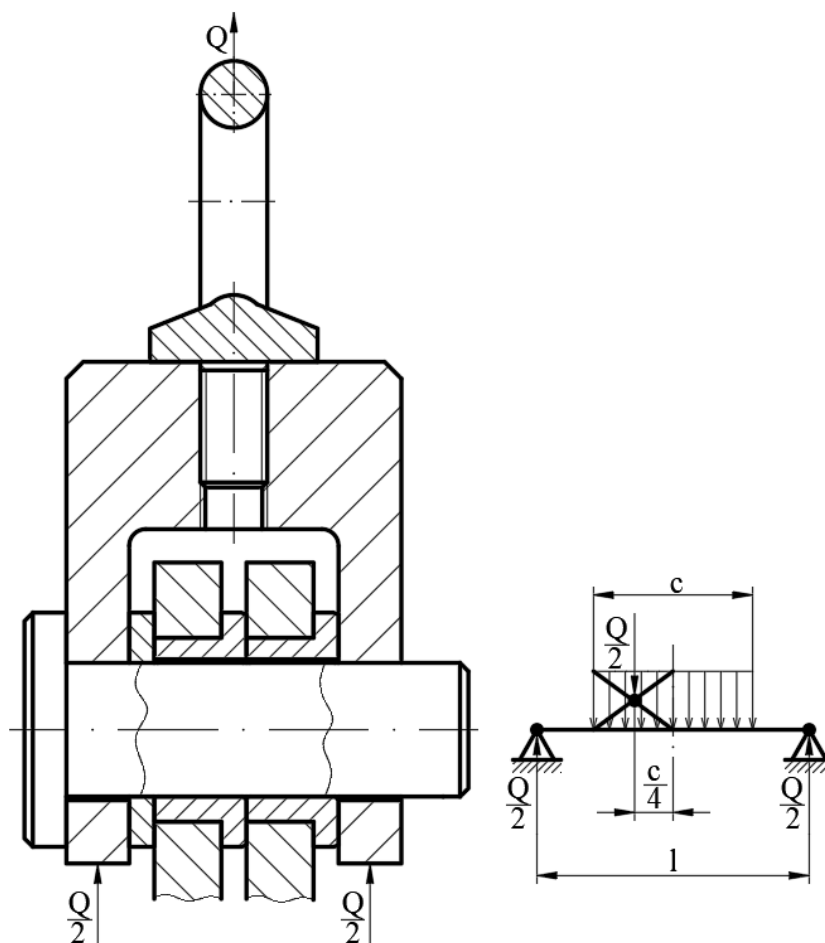
Průměr čepu je zvolen na základě vnitřního průměru kluzných pouzder. Uvažovány jsou dvě varianty zajištění proti axiálnímu posuvu čepu. První variantou je zajištění pomocí závlaček z obou stran. Vhodnější variantou je použití čepu s hlavou, díky kterému bude nosný čep oslaben pouze jednou dírou pro závlačku.

Volím:

$$\varnothing d_{\text{čp3}} = 16 \text{ mm}$$

b) Výpočet ohybového napětí nosného čepu

Ohyb vytváří reakční síly závěsu a rovných pásovin. U rovných pásovin je uvažováno spojitě zatížení. Je uvažován nosník o dvou podporách, jehož symetrie umožňuje počítat s jeho polovinou.



Obrázek 35 Síly působící na nosný čep

Dáno:

$$t_1 = 7,5 \text{ mm}, l = 32,5 \text{ mm}, c = 22 \text{ mm}, \varnothing d_{\text{čp3}} = 16 \text{ mm}, Q = 2\,443 \text{ N}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{Do} \quad (19)$$

$$M_o = \frac{Q}{2} \cdot \frac{l}{2} - \frac{Q}{2} \cdot \frac{c}{4}$$

$$M_o = \frac{Q}{8} \cdot (2 \cdot l - c)$$

$$M_o = \frac{Q}{8} \cdot (2 \cdot t_1 + c) \quad (20)$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad (21)$$

$$\sigma_o = \frac{\frac{Q}{8} \cdot (2 \cdot t_1 + c)}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}}$$

$$\sigma_o = \frac{\frac{2\,443}{8} \cdot (2 \cdot 7,5 + 22)}{\frac{\pi \cdot 16^3}{32}}$$

$$\sigma_o = 28,1 \text{ MPa}$$

b) Výpočet stříhového napětí nosného čepu

Nosný čep je namáhán na stříh ve dvou místech. Napětí ve stříhu vzniká na průměru čepu mezi rovnou pásovinou a nosným rámem.

Dáno:

$$\varnothing d_{\text{čp3}} = 16 \text{ mm}, Q = 2\,443 \text{ N}$$

$$\tau_s = \frac{Q}{2 \cdot S} \leq \tau_{Ds} \quad (22)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot Q}{\pi \cdot d_{\text{čp3}}^2}$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot 2\,443}{\pi \cdot 16^2}$$

$$\tau_s = 6,08 \text{ MPa}$$

c) Výpočet redukováného napětí

Jelikož na nosný čep působí kombinované nesourodé namáhání (tečné a normálové), je zapotřebí vypočítat napětí redukováné, které se následně porovná s maximálním dovoleným napětím v ohybu.

Dáno:

materiál čepu je ocel EN 51CrV4

$\sigma_{Dt} = \sigma_{Do} = 357,58 \text{ MPa}$, $\tau_s = 6,08 \text{ MPa}$, $\sigma_o = 28,1 \text{ MPa}$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \leq \sigma_{Do} \quad (23)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{28,1^2 + 3 \cdot 6,08^2}$$

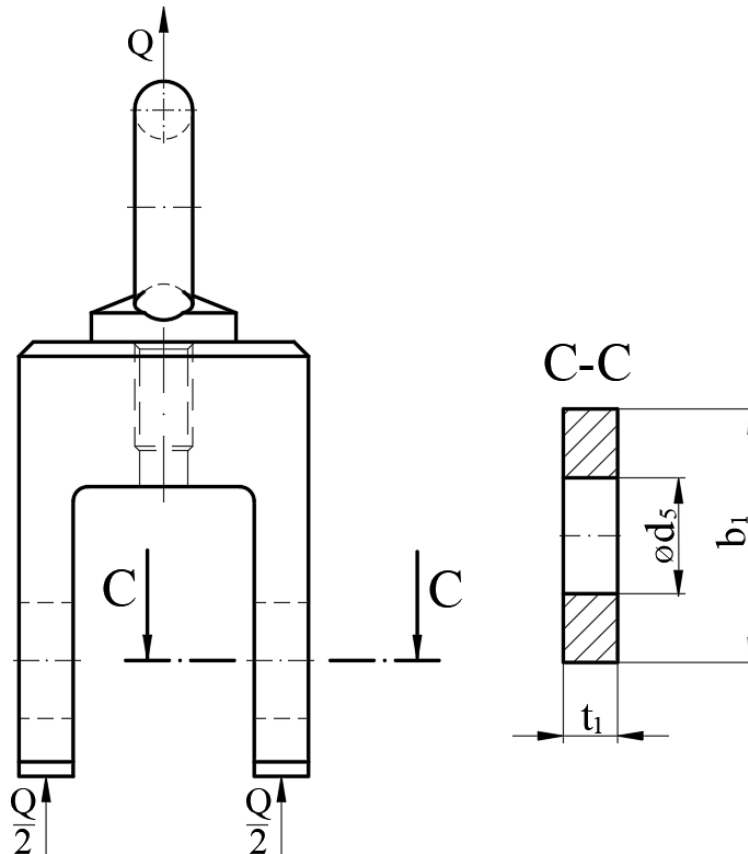
$$\sigma_{red} = 30 \text{ MPa}$$

$$30 \text{ MPa} \leq 357,58 \text{ MPa}$$

Závěr: při porovnání výsledného redukovaného napětí s maximálním dovoleným napětím v ohybu je zjištěno, že pevnostní podmínka je splněna.

d) Kontrola nebezpečného průřezu rámu na tah

Do závěsného nosného oka bude zaháknut nerezový hák s nosností 300 kg. Tento hák je neotočný. Z důvodu velké nosnosti háku a závěsného oka, jsou tyto části považovány jako nedeformovatelná tělesa. Do výpočtu je uvažován pouze nebezpečný průřez závěsného rámu.



Obrázek 36 Síly působící na závěsné oko

Dáno:

materiál nosného rámu EN E295

$\sigma_{Dt} = 140$ až 210 MPa [41], $b_1 = 34$ mm, $t_1 = 7,5$ mm, $\varnothing d_5 = 16$ mm,

$Q = 2\,443$ N

$$\sigma_t = \frac{F}{2 \cdot S} \leq \sigma_{Dt}$$

$$\sigma_t = \frac{Q}{2 \cdot (b_1 - d_5) \cdot t_1} \quad (24)$$

$$\sigma_t = \frac{2\,443}{2 \cdot (34 - 16) \cdot 7,5}$$

$$\sigma_t = 9,05 \text{ MPa}$$

$$9,05 \text{ MPa} \leq 175 \text{ MPa}$$

Závěr: při porovnání výsledného tahového napětí s maximálním dovoleným tahovým napětím je zjištěno, že pevnostní podmínka je splněna.

e) Kontrola nosného rámu na otláčení

Dáno:

materiál nosného rámu je ocel EN E295

materiál čepu je ocel EN 51CrV4

$p_D = 35$ až 200 MPa [42], $t_1 = 7,5$ mm, $\varnothing d_{\text{čp3}} = 16$ mm, $Q = 2\,443$ N

$$p = \frac{Q}{2 \cdot S} \leq p_D \quad (25)$$

$$p = \frac{Q}{2 \cdot d_{\text{čp3}} \cdot t_1}$$

$$p = \frac{2\,443}{2 \cdot 16 \cdot 7,5}$$

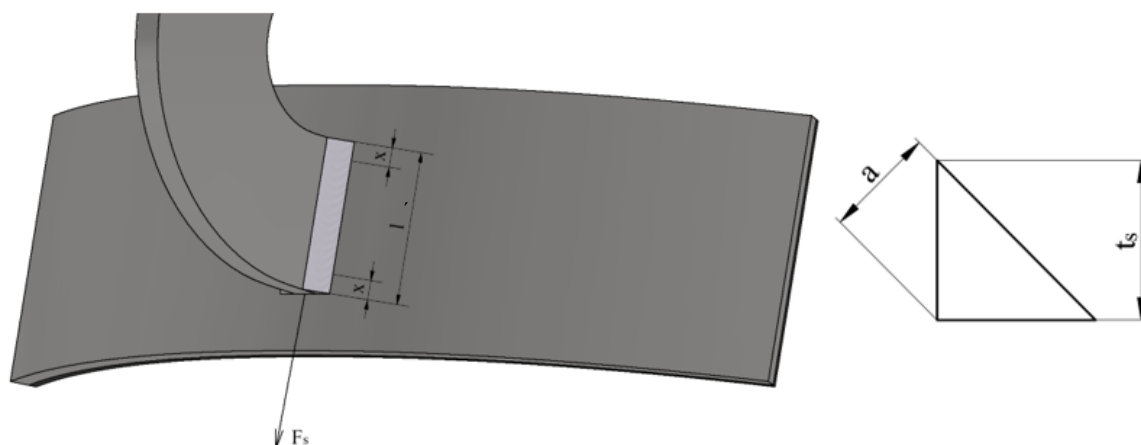
$$p = 10,18 \text{ MPa}$$

$$10,18 \leq 100 \text{ MPa}$$

Závěr: dosazením skutečného tlaku do pevnostní podmínky je zjištěno, že pevnostní podmínka je splněna. Tlak ve stykových plochách nepřesáhne mezní hodnotu.

9.10 Kontrola únosnosti svarů

Kleště jsou přivařeny metodou ručního obloukového svařování. Koutovým svarem je oboustranně přivařen zakřivený rám k zakružené pásovině.



Obrázek 37 Rozměry koutového svaru

Dáno:

materiál rámu je ocel EN S355J0

$F_s = Q/2 = 1\,222\text{ N}$, $t_s = 6\text{ mm}$, $l' = 40\text{ mm}$, $x = 5\text{ mm}$,

$R_{e\text{min.}} = 284\text{ MPa}$ [38], $k = 1,25$ až 2 , $\alpha' = 0,65$

$$a = 0,7 \cdot t_s \quad (26)$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F}{S_{\parallel}} \quad (27)$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_s}{2 \cdot (l' - 2 \cdot x) \cdot a} \quad (28)$$

$$\tau_{\text{Dsv}} = \alpha' \cdot \sigma_D \quad (28)$$

$$\tau_{\text{Dsv}} = \alpha' \cdot \frac{R_e}{k}$$

$$a = 0,7 \cdot 6$$

$$a = 4,2\text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{1\,222}{2 \cdot (40 - 2 \cdot 5) \cdot 4,2}$$

$$\tau_{\parallel} = 4,85\text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{Dsv}} = 0,65 \cdot \frac{284}{1,625}$$

$$\tau_{\text{Dsv}} = 113,6\text{ MPa}$$

$$4,85\text{ MPa} \leq 113,6\text{ MPa}$$

Závěr: jakožto svarové namáhání je uvažováno poloviční zatížení Q . Při porovnání skutečného stříhového napětí s určeným dovoleným napětím je zjištěno, že pevnostní podmínka je splněna. Svarový spoj je více než dostačující.

9.11 Volba normalizovaných součástí

Součástí sestavy jsou i normalizované díly, které by bylo složité vyrobit a díky kterým je i celková výrobní cena nižší.

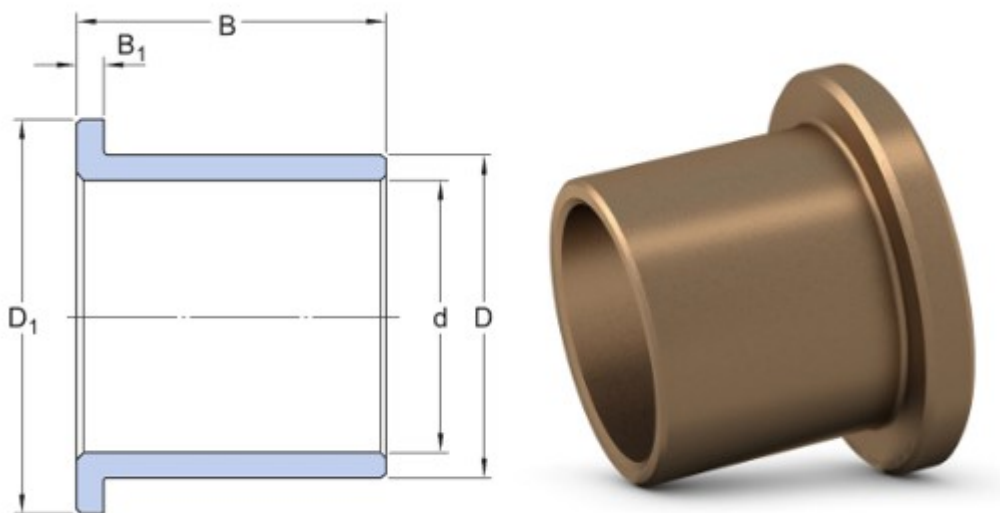
Kluzné pouzdro

Je zvoleno přírubové kluzné pouzdro ze slinutého bronzu, které je vhodné pro oscilační, rotační a lineární pohyby. Umožňuje přenášení radiálních i axiálních zatížení v jednom směru. Tyto pouzdra jsou samomazná a tedy bezúdržbová. Jejich porézní matrice je napuštěna minerálním olejem. Díky těmto vlastnostem zaručují tato pouzdra nízký koeficient tření. [43]

Konkrétně se jedná o kluzné pouzdro od společnosti SKF typ PSMF 162212 A51. Jelikož je tloušťka plechu rámů 8 milimetrů, je zapotřebí pouzdra lehce zbrusit, aby lícovala.

Tabulka 3 Rozměry kluzného pouzdra [43]

d	D	B	D ₁	B ₁
16 mm	22 mm	12 mm	28 mm	3 mm



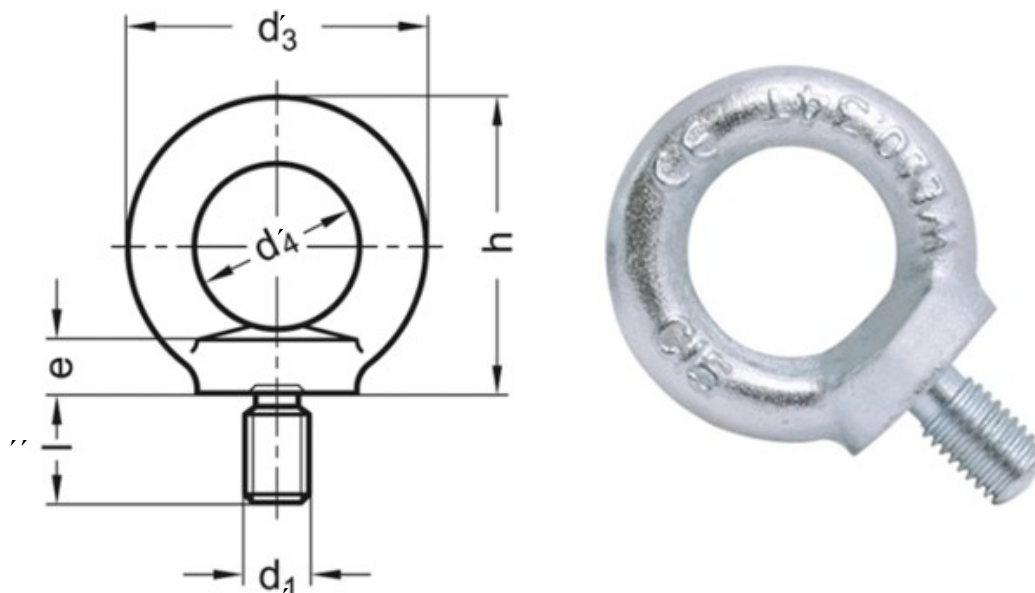
Obrázek 38 Kluzné pouzdro [43]

Závěsné oko

Podle rozměrů a tvaru háku je zvoleno nerezové pozinkované závěsné oko se šroubem DIN 580. Toto oko je svým profilem přizpůsobeno pro hák a plochy tedy budou vzájemně lícovat. Udávaná hmotnost pro oko se závitem M10 je 230 kg, což je více než dostačující.

Tabulka 4 Rozměry závěsného oka [44]

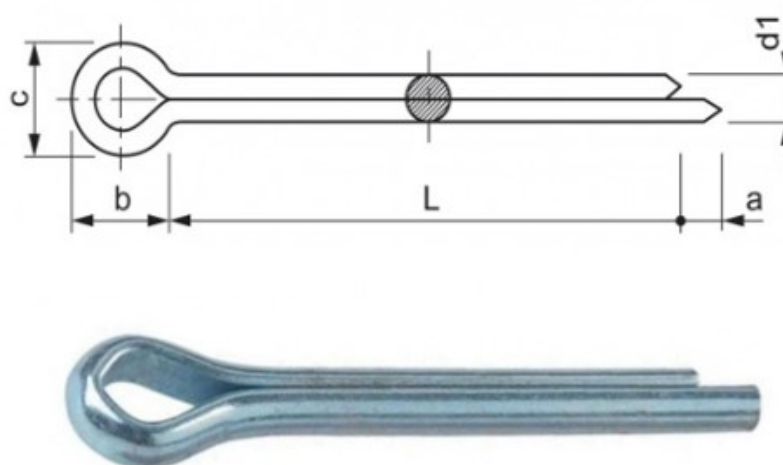
d_1	d_3	d_4	l''	h
M10	45 mm	25 mm	17 mm	45 mm



Obrázek 39 Závěsné oko se šroubem [44]

Závlačka

Rozměry závlačky se odvíjí od rozměrů jednotlivých čepů. Normalizovaný čep s dírou pro závlačku, který lze najít ve strojnických tabulkách [41] sice nevyhovuje, ale některé jeho rozměry lze převzít. Díky tomu je zvolen konkrétní typ normalizované závlačky. Pro všechny čepy (boční, prostřední, nosný) je zvolena závlačka 4x32 ISO 1234 St.



Obrázek 40 Závlačka [45]

10 POSTUP VÝROBY A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Tato kapitola se v první části věnuje stručnému popisu výroby všech nenormalizovaných součástí. K součástem je přiložena fotografie z postupu výroby. Ve druhé části jsou rozebrány cenové náklady.

10.1 Výroba jednotlivých součástí

Závěsný rám s okem

Závěsný rám s okem byl vyroben pomocí CNC frézování. Dosedací plocha byla zarovnána tak, aby bylo závěsné oko se šroubem vystředěno do požadované polohy. Proti povolení šroubu bylo aplikováno speciální vytvrzovací lepidlo střední pevnosti. Závěsný rám byl následně natřen antikorozi barvou.



Obrázek 41 Závěsný rám

Rámová konstrukce a zakružené pásoviny

Po načtení dwg souboru všech součástí do programu pro 2D laserové řezání byly vyřezány požadované tvary.

U zakružených pásovin byl nejprve nařezán polotovár na určitou délku. Obdélníkový tvar pásovin byl poté postupným zakružováním ohnut na požadovaný rozměr.

Svařenec

Zakřivené rámy se zakruženými pásovinami byly po očištění svých svarových ploch svařeny podle výkresové dokumentace.

Tryskání a nátěr

Jakmile byly svařence připravené, byly společně s ostatními plechy vloženy do speciálního pískovacího zařízení. Povrch plechů byl zdrsňen a zbaven všech nečistot a otřepů. Takto upravený povrch byl připraven pro antikoroziční nátěr.



Obrázek 42 Povrch po tryskání



Obrázek 43 Svařence po antikorozičním nátěru

Čepy

Čepy bylo potřeba vyrobít na CNC soustruhu, aby byla dosažena požadovaná tolerance a drsnost povrchu. Následně byl do všech čepů vyvrtán otvor pro závlačku.

10.2 Montáž

Aby bylo možné spojit dva svařence dohromady, bylo nejprve potřeba ruční nalisování kluzných pouzder. Tato pouzdra byla hromadně nalisována do určených otvorů všech rámců. Následovalo spojení dvou svařenců pomocí prostředního čepu, který byl proti vysunutí zajištěn závlačkou. Stejným postupem byly pomocí bočních čepů a nosného čepu připojeny rovné rámy.

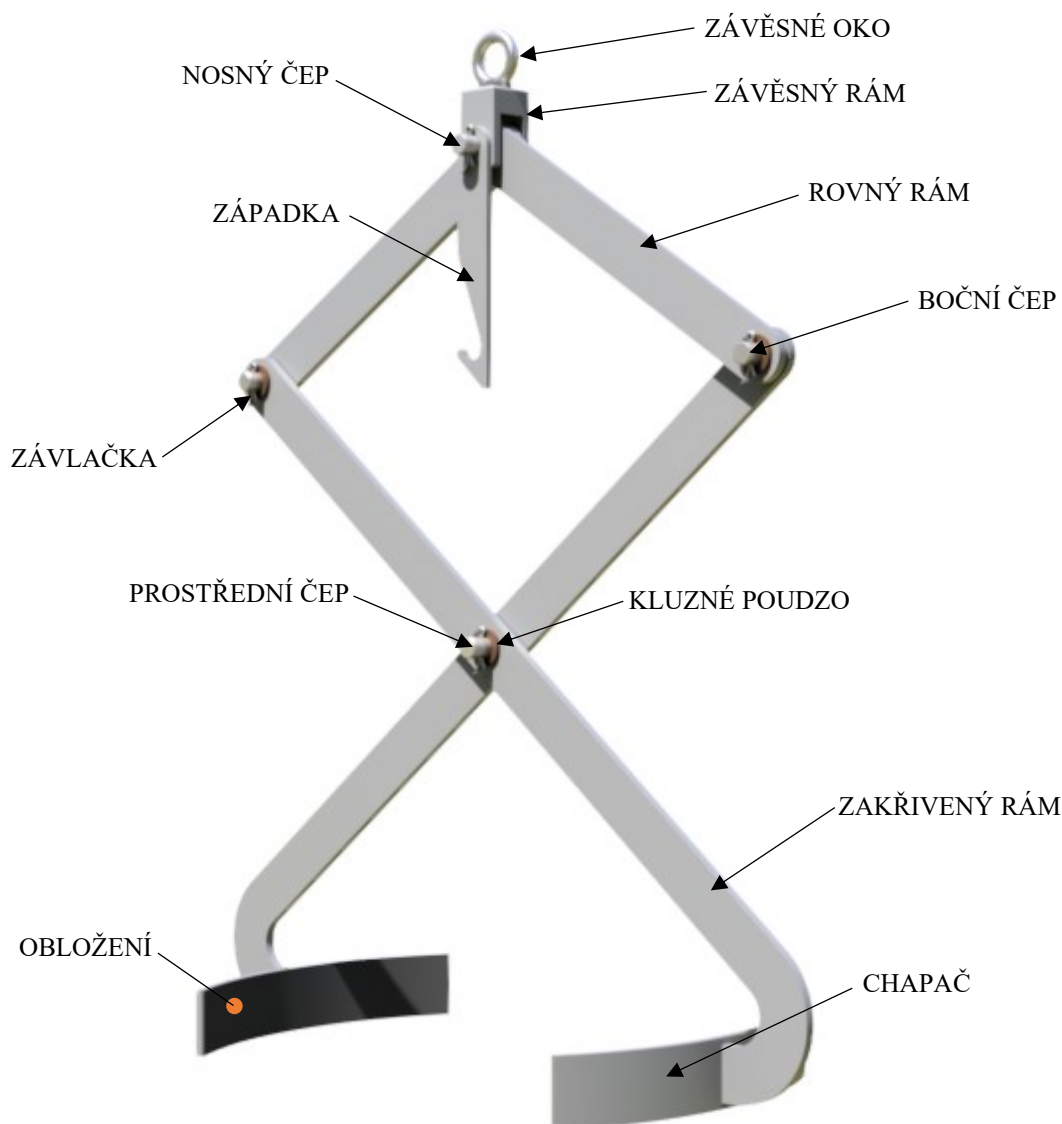
Nosný čep byl vyroben tak, aby bylo možné nasunout závěsný rám s okem. Závěs bylo zapotřebí vystředit pomocí podložky, jelikož jsou kluzná pouzdra přírubová. Následně byla na nosný čep nasunuta západka, která ustavuje celou konstrukci v určité poloze. Proti vysunutí západky byla opět použita závlačka.



Obrázek 44 Samosvorné kleště

10.3 Popis 3D modelu a ukázka z praxe

V této podkapitole je demonstrován 3D model kleští s popisem jednotlivých částí sestavy.



Obrázek 45 3D model kleští

Následuje ukázka samosvorných kleští při práci. Je zvedán sud 150 l, pro který jsou kleště vyrobeny. Hmotnost nákladu je zde přibližně 150 kg. Zátěžový test proběhl bez komplikací. Jelikož jsou kleště dimenzovány na 250 kg, nebyly při tomto zdvihu viditelné žádné elastické deformace konstrukce.



Obrázek 46 Zdvih sudu 150 l

10.4 Ekonomické zhodnocení

Při posuzování ekonomie výroby je potřeba zohlednit, že jsou veškeré ceny uvedeny ke konkrétnímu datu a mohou se každým dnem měnit. Některé ceny jsou přepočítány z většího množství (lepidlo, barva apod.). Kalkulace je rozdělena do třech kategorií.

Veškeré ceny jsou uváděny s DPH.

10.4.1 Ceny materiálů

Pro odhad ceny materiálů byly využity různé internetové obchody, ve kterých lze zakoupit plech, kulatinu i plochou tyč. Veškeré tyto polotovary jsou řezány na míru. Kulatina je přepočítána pomocí ceny za kilogram oceli. Cena ploché tyče pro CNC frézování je zanedbatelná.

Tabulka 5 Ceny materiálů

Materiál	Polotovar	Rozměr [mm]	Cena [Kč]
EN S355J0	plech	P8 – 850 x 200	650
EN S355J0	plech	P5 – 785 x 50	100
EN 51CrV4	kulatina	Ø30 – 300	126

Celková cena materiálů: 876 Kč

10.4.2 Ceny normalizovaných součástí a pomocných materiálů

Tabulka 6 Ceny normalizovaných součástí a pomocných materiálů

Součást/Materiál	Počet kusů	Rozměr [mm]/ Označení	Cena [Kč]
kluzné pouzdro	8	PSMF 162212 A51	720
závlačka	4	4 x 32 ISO 1234 St	6
závěsné oko	1	DIN 580 M10	28
obložení	1	tl.3 – 500 x 300	49
lepidlo Loctite	1	243 – 5 ml	83
lepidlo Chemoprén	1	univerzál 50 ml	68
antikoroziční barva	1	Balakryl antikor	30

Celková cena normalizovaných součástí a pomocných materiálů: 984 Kč

10.4.3 Ceny činností

Na výrobu kleští je zapotřebí využít určitá zařízení, jejichž využití je účtováno hodinovou sazbou stroje. Zároveň je zohledněna práce ve mzdě, která je určena částkou 500 Kč/hod.

Tabulka 7 Ceny činností

Činnost	Čas [min.]	Cena [Kč]
CNC frézování	30	750
laserové řezání	5	150
CNC soustružení	30	600

Celková cena činností: 1500 Kč

10.4.4 Závěrečné zhodnocení

Při součtu všech kategorií je zjištěna výrobní cena. K této ceně je zapotřebí připočítat 10 % přírážku za montáž.

Celková výrobní cena: 3 696 Kč

Aby bylo možné porovnat tuto konkrétní variantu s ostatními variantami na trhu, je připočítána obchodní přírážka 50 % z celkové výrobní ceny. Díky tomu je následně určena prodejní cena.

Celková prodejní cena: 5 544 Kč

ZÁVĚR

Zadáním bakalářské práce je konstrukce sudové kleštiny, která bude součástí zdvihací sestavy. Zdvih tohoto jednoúčelového manipulátoru zajišťuje elektricky poháněný lanový naviják a uchopení sudu je dosaženo samosvorností kleštin. Samosvornost je vyvolána vlastní hmotností břemene.

Po provedení literární rešerše byla zformulována teoretická část. Ta je rozdělena do šesti kapitol obsahujících základní prvky, jež jsou nutné pro pochopení problematiky zdvihacích zařízení, výrobních operací pro konstrukci kleštiny a bezpečnosti práce při manipulaci s nimi.

V praktické části byly po stanovení cílů nejprve určeny čtyři podobné konstrukční varianty, od nichž se následně odvíjel i vlastní návrh konstrukce. Největší rozměry kleštin vycházejí z předem určeného tvaru sudu. Rozměry rámové konstrukce, čepů a závěsu byly dimenzovány pomocí dovolených namáhání materiálů. Největší problém nastal při návrhu tvaru zakřiveného rámu. Je totiž zapotřebí, aby se zakřivená část co nejlépe vyhýbala vnějšímu profilu sudu a aby následně přivaření chapačů k tomuto profilu bylo pod takovým úhlem, aby chapače správně uchopily sud.

Model sestavy kleštin, jednotlivé části kleštin i výrobní výkresová dokumentace byly vytvořeny v softwaru Autodesk Inventor 2023. Při tvorbě všech nenormalizovaných součástí byl kladen důraz na jednoduchost a cenovou dostupnost.

V závěrečné kapitole praktické části bylo provedeno ekonomické zhodnocení, díky kterému byla určena konečná tržní cena výrobku. Při porovnání tržní ceny s cenami předem zvolených variant je možné konstatovat, že jsou kleštiny v dostupné cenové relaci. Nejpodobnější varianta A je sice levnější, ale z hlediska rozsahu rozevření kleštin a tuhosti celé konstrukce je značně nedostačující pro velké a těžké sudy.

Při dodržení bezpečnostních opatření proběhlo odzkoušení výrobku v praxi, díky čemuž bylo zjištěno, že je vyrobená konstrukce schopna bezpečně uchytit a zvednou jednak předem uvažovaný sud, pro který byly kleštiny vyrobeny, jednak i užší sud se značně větší hmotností.

Na základě zjištěných výsledků by bylo možné v budoucnu upravit dotyk se sudem tak, aby se chapače dokázaly přizpůsobit více typům sudů podobných rozměrů za pomoci jejich mírného naklápění. Jestliže by po určité době používání kleštin došlo k deformování

některých součástí, poté by bylo vhodné uvažovat v případě normalizovaných dílů jejich výměnu za kvalitnější výrobek a v případě nenormalizovaných součástí by se mohlo uvažovat například případné rozšíření kritických míst rámové konstrukce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HLAVENKA, Bohumil. *Manipulace s materiálem: systémy a prostředky manipulace s materiálem*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-214-3607-7.
- [2] POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLISKA a Aleš SLÍVA. *Dopravní a manipulační zařízení I*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2001. ISBN 80-248-0043-8.
- [3] PAVLISKA, Jiří a Leopold HRABOVSKÝ. *Dopravní a manipulační zařízení IV*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2004. ISBN 80-248-0537-5.
- [4] GAŠPARÍK, Miroslav a Leopold HRABOVSKÝ. *Manipulační a dopravní technika II*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2017. ISBN 978-80-213-2760-3.
- [5] Stavitelná jeřábová H-traverza. In: *Emporo* [online]. [cit. 2023-01-01]. Dostupné z: <https://www.emporo.cz/v/1357960>
- [6] Eurozávěs samovyvažovací. In: *2ts* [online]. [cit. 2023-01-01]. Dostupné z: <https://www.2ts.cz/eurozaves-samovyvazovaci-ezs-15-43-univerzal.html>
- [7] Eurozávěs vyvažovaný převěšováním. In: *2ts* [online]. [cit. 2023-01-01]. Dostupné z: <https://www.2ts.cz/eurozaves-vyvazovany-prevesovanim-ezp-20-23-special.html>
- [8] ZÁLEŽÁK, Milan. *Technológia v prístavoch a prekladiskách*. Žilina: EDIS, 2004. ISBN 80-8070-200-4.
- [9] STEHLÍK, Jaroslav. *Zdvihací stroje*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. ISBN 978-80-7372-198-5.
- [10] Hydraulický drapák na sypké hmoty. In: *HYDROTRUCK* [online]. [cit. 2023-01-01]. Dostupné z: <https://www.hydrotruck-rotatory.cz/hydraulicky-drapak-na-sypke-hmoty-ferrari-fcb-205>
- [11] Manipulační systémy. *Tesort* [online]. [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: https://www.tesort.cz/upload/files/Eshop/Categories/32/manipulacni_systemy.pdf
- [12] Vakuové manipulátory. *Vazaky* [online]. [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://www.vazaky.com/vakuove-manipulatory/>

- [13] Vakuové samopřísavné manipulátory VMS. In: *TEDOX* [online]. [cit. 2023-01-01]. Dostupné z: <https://www.tedox.cz/vakuove-samoprisavne-manipulatory-vms>
- [14] Vakuové manipulátory s mechanismem otáčení o 90°. In: *PRO-LIFT* [online]. [cit. 2023-01-01]. Dostupné z: https://www.pro-lift.cz/133-vakuove_manipulatory_s_mechanismem_otaceni_o_90%b0
- [15] Břemenové magnety. *Tedox* [online]. [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: https://www.tedox.cz/media/cache/file/61/bremenove-magnety_135-1487.pdf
- [16] Single girder crane. In: *K K Steel* [online]. [cit. 2023-01-01]. Dostupné z: <https://kksteel.in/manufacturer-of-eot-cranes-in-india/>
- [17] *Techlan: Vázací řetězy a komponenty* [online]. [cit. 2023-01-01]. Dostupné z: <https://www.techlan.cz/vazaci-retezy-a-komponenty>
- [18] *Techlan: Textilní vázací prostředky* [online]. [cit. 2023-01-01]. Dostupné z: https://www.techlan.cz/textilni_vazaci_prostredky
- [19] Textilní vázací prostředky. In: *PRONOVO* [online]. [cit. 2023-01-01]. Dostupné z: <http://www.pronovo.cz/node/85>
- [20] SADÍLEK, Marek. *Nekonvenční metody obrábění II: obrábění laserem, plazmou, ultrazvukem, elektronovým, iontovým a vodním paprskem*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2016. ISBN 978-80-248-3944-8.
- [21] RAMBOUSEK, Zdeněk. *Laser machines: laser sources, technology, design*. Liberec: VÚTS, 2018. ISBN 978-80-87184-75-2.
- [22] NĚMEČEK, Stanislav. Laserové technologie. *Matexpm* [online]. [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://adoc.pub/laserove-technologie.html>
- [23] Cutting progress; Laser Next 2141. In: *PrimaPower* [online]. [cit. 2023-01-01]. Dostupné z: <https://www.primapower.com/en/technologies/3d-laser-cutting/3d-laser-cutting-machines/laser-next-2141>
- [24] Laser cutting: Sublimation cutting. *TRUMPF* [online]. [cit. 2023-01-01]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/en_US/solutions/applications/laser-cutting/sublimation-cutting/
- [25] Laser cutting: Fusion cutting. *TRUMPF* [online]. [cit. 2023-01-01]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/en_US/solutions/applications/laser-cutting/fusion-cutting/

- [26] Tavné řezání. In: *TOROTECH* [online]. [cit. 2023-01-01]. Dostupné z: <https://torotech.cz/rezani-laserem/>
- [27] NEUMANN, Heinz. *Teorie svařování a pájení*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014. ISBN 978-80-7494-171-9
- [28] NĚMEC, Milan, Jan SUCHÁNEK a Jan ŠANOVEC. *Základy strojírenské technologie I*. 3. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06056-8.
- [29] ČADA, Radek. *Technologie I: plastická deformace kovů, objemové tváření zastudena, tažení plechu, ohýbání*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-2108-5.
- [30] MATOUŠEK, Oldřich. *Bezpečnost práce při manipulaci s břemeny*. Dotisk 2. vyd. [i.e. 3. vyd.]. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2006. Bezpečný podnik. ISBN 80-86973-06-9.
- [31] Vozík na balonové kanystry, In: *DENIOS* [online]. [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: https://www.denios.cz/vozik-na-balonove-kanystry-bk-60-celopryzove-obruce-ral-5010-164368/164368?gclid=Cj0KCQiA99ybBhD9ARIsALvZavUxglfTnfAnnwEyvRw9ve1CDnk7zFeudf5DFcbOac-QuCcWv3Jny5YaAtbZEALw_wcB
- [32] Zásady bezpečné práce při manipulaci s břemeny pomocí jeřábu a jiných zdvihacích zařízení. *Koordinacebozp* [online]. [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://www.koordinacebozp.cz/aktuality/zasady-bozp-pri-praci-s-jerabem/>
- [33] Self Locking Drum Lifter. In: *Ukliftingstore* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.ukliftingstore.co.uk/products/self-locking-drum-lifter-plastic-drums-bs-en-13155-2003>
- [34] Kleště na sudy. In: *Mevatec* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.mevatec.cz/kleste-na-sudy-P/>
- [35] Open & Closed Head Drum Lifter. In: *Globalindustrial* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.globalindustrial.ca/p/global-industrial-open-closed-head-drum-li-er-1000-lb-capacity>
- [36] Drum clamp with lining. In: *Mipromet* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://mipromet.eu/en/lifting-clamps/255-drum-clamp-with-lining-gb-p.html>

- [37] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. *Konstruování strojních součástí*. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.
- [38] Tprom: Mechanické vlastnosti ocelí [online]. [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <http://www.tprom.cz/mechanicke-vlastnosti-oceli>
- [39] KAŠTÁNEK, Otakar. *Části strojů*. Třetí. Vysoké učení technické v Brně: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1982
- [40] DRAŽAN, František. *Jeřáby*. Praha: nakladatelství technické literatury - SNTL, 1968
- [41] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření*. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 9788073611118.
- [42] E-konstrukér: Hodnoty mezi pevnosti, kluzu, únavy a dovolených napětí pro ocel [online]. [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/hodnoty-mezi-pevnosti-kluzu-unavy-a-dovolenych-napeti-pro-ocel>
- [43] Sintered bronze flanged bushing. *Skf* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/productinfo/productid-PSMF%20162212%20A51>
- [44] Závěsné oko se šroubem [online]. [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.elesa-ganter.cz/cs/cze/Strojni-prvky--Zav%C4%9Bna-oka-se-%C5%A1roubem--DIN580-NI>
- [45] Závlačka DIN 94-4x32 pozink. *Prumex* [online]. [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: https://www.prumex.cz/zavlacka-din-94-4x32-pozink/?gclid=Cj0KCQjwmN2iBhCrARIsAG_G2i64SKloNr1U4k4ToQLh6kR4HhI2uLvFQ3D91W5KerX79K_AQsdhmEQaAuiOEALw_wcB

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SYMBOL	VÝZNAM	JEDNOTKA
a	tloušťka svaru	[mm]
α	úhel mezi rámy kleští	[°]
α'	součinitel svarového spoje	[-]
b	šířka rámu	[mm]
b_1	šířka nosného závěsu	[mm]
B	šířka kluzného pouzdra	[mm]
B_1	šířka příruby kluzného pouzdra	[mm]
β	úhel mezi rámy kleští	[°]
c	délka působícího spojitého zatížení	[mm]
d	průměr díry kluzného pouzdra	[mm]
$d_{\text{čp1}}$	průměr bočního čepu	[mm]
$d_{\text{čp2}}$	průměr prostředního čepu	[mm]
$d_{\text{čp3}}$	průměr nosného čepu	[mm]
d_1'	závit závěsného oka	[mm]
d_1, d_2	otvory rovného rámu pro kluzné pouzdro	[mm]
d_3, d_4	otvory zakřiveného rámu pro kluzné pouzdro	[mm]
d_3'	šířka závěsného oka	[mm]
d_4'	otvor závěsného oka pro hák	[mm]
d_5	otvor pro nosný čep závěsu	[mm]
D	vnější průměr kluzného pouzdra	[mm]
D_1	vnější průměr příruby kluzného pouzdra	[mm]
F	obecná síla	[N]
F_1	síla bočního čepu působící v ose x	[N]
F_2	síla působící na stěnu sudu v ose x	[N]

$F_{\text{břemene}}$	síla vyvolaná břemenem	[N]
F_s	střížná síla	[N]
$F_{\text{sevření}}$	svěrná síla kleštín	[N]
F_{t1}	tahová síla působící na rovný rám	[N]
F_{t2}	tahová síla působící na zakřivený rám	[N]
f	součinitel tření	[-]
g	gravitační zrychlení	[m·s ⁻²]
h	výška závěsného oka	[mm]
k	součinitel bezpečnosti	[-]
l	vzdálenost mezi podpěrami uvažovaného nosníku	[mm]
l_1	rozteč mezi bočním a prostředním čepem	[mm]
l_2	vzdálenost mezi prostředním čepem a chapačem	[mm]
l_3	vzdálenost mezi chapačem a středem sudu	[mm]
l'	efektivní délka svaru	[mm]
l''	délka dřívku se závitem závěsného oka	[mm]
M_A	ohybový moment k bodu A	[-]
M_o	skutečný ohybový moment	[N·mm]
m_c	celková hmotnost konstrukce	[kg]
m_k	hmotnost konstrukce kleští	[kg]
m_n	hmotnost nákladu	[kg]
m_s	hmotnost plastového sudu	[kg]
N_1	normálová síla působící v rovném rámu	[N]
P	zatížení prostředního čepu	[N]
p	skutečný tlak ve stykových plochách	[MPa]
p_D	maximální dovolený tlak v otlacení materiálu	[MPa]
Q	zdvihová síla	[N]

R_e	mez kluzu materiálu	[Mpa]
$R_{e\min.}$	minimální mez kluzu materiálu	[Mpa]
S	namáhaná plocha	[mm ²]
S_{\parallel}	namáhaná plocha svaru	[mm ²]
σ_o	skutečné napětí v ohybu	[MPa]
σ_{Do}	maximální dovolené napětí v ohybu	[MPa]
σ_t	skutečné napětí v tahu	[MPa]
σ_{Dt}	maximální dovolené napětí v tahu	[MPa]
σ_{red}	napětí redukované	[MPa]
t	tloušťka rámu	[mm]
t_s	výška svaru	[mm]
t_l	tloušťka nosného závěsu	[mm]
τ_s	skutečné napětí ve střihu	[MPa]
τ_{Ds}	maximální dovolené napětí ve střihu	[MPa]
τ_{Dsv}	maximální dovolené svarové napětí	[MPa]
τ_{\parallel}	smykové napětí rovnoběžné s osou svaru	[MPa]
W_o	modul průřezu v ohybu	[mm ³]
x	náběh a výběh svaru	[mm]
π	matematická konstanta	[-]

ZKRATKA VÝZNAM

Nd:YAG Neodym: Ytrium Aluminium Granát

BPP Beam Parameter Product

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Stavitelná jeřábová H traverza [5].....	13
Obrázek 2 Závěs samovyvažovací [6].....	14
Obrázek 3 Závěs vyvažovaný převěšováním [7].....	14
Obrázek 4 Hák jednoduchý a dvojitý [3].....	15
Obrázek 5 Hák lamelový a pánvový [3].....	16
Obrázek 6 Dvoulanový drapák [8].....	16
Obrázek 7 Hydraulický drapák [10].....	17
Obrázek 8 Kleště neovládané a ovládané [9].....	18
Obrázek 9 Vakuový samonasávací manipulátor [13].....	19
Obrázek 10 Elektrický vakuový manipulátor [14].....	19
Obrázek 11 Magnet kruhový a obdélníkový [15].....	20
Obrázek 12 Popis částí mostového jeřábu [16].....	21
Obrázek 13 Svařovaný článkový řetěz [9].....	24
Obrázek 14 Vodící kladka [9].....	24
Obrázek 15 Hnací kladka [9].....	25
Obrázek 16 Dvouřadý válečkový řetěz [9].....	25
Obrázek 17 Přehled textilních vázacích prostředků [19].....	26
Obrázek 18 Základní typy interakcí fotonu [21].....	28
Obrázek 19 Průběh řezání laserem [23].....	30
Obrázek 20 Sublimační řezání [24].....	31
Obrázek 21 Tavné řezání [26].....	31
Obrázek 22 Odpružení po ohýbání [29].....	36
Obrázek 23 Princip práce dvojválcové zakružovačky [29].....	36
Obrázek 24 Vozík na kanystry [31].....	37
Obrázek 25 Varianta A [33].....	41
Obrázek 26 Varianta B [34].....	42
Obrázek 27 Varianta C [35].....	42
Obrázek 28 Varianta D [36].....	43
Obrázek 29 Model sudu 150 l.....	43
Obrázek 30 Schéma rozložení sil.....	47
Obrázek 31 Působení tahové síly na rovný rám.....	52
Obrázek 32 Působení tahové síly na zakřivený rám.....	53
Obrázek 33 Výsledek simulace FEM analýzy.....	54
Obrázek 34 Detail simulace FEM analýzy.....	55

Obrázek 35 Síly působící na nosný čep	56
Obrázek 36 Síly působící na závěsné oko	58
Obrázek 37 Rozměry koutového svaru.....	60
Obrázek 38 Kluzné pouzdro [43].....	61
Obrázek 39 Závěsné oko se šroubem [44].....	62
Obrázek 40 Závlačka [45].....	62
Obrázek 41 Závěsný rám	63
Obrázek 42 Povrch po tryskání.....	64
Obrázek 43 Svařence po antikoročním nátěru	64
Obrázek 44 Samosvorné kleště	65
Obrázek 45 3D model kleští	66
Obrázek 46 Zdvih sudu 150 l.....	67

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Srovnání laserů [20].....	29
Tabulka 2 Bodové hodnocení jednotlivých variant	44
Tabulka 3 Rozměry kluzného pouzdra [43]	61
Tabulka 4 Rozměry závěsného oka [44].....	62
Tabulka 5 Ceny materiálů.....	68
Tabulka 6 Ceny normalizovaných součástí a pomocných materiálů.....	68
Tabulka 7 Ceny činností	68

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: VÝPOČET SOUČINITELE TŘENÍ

Příloha P II: VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

NÁZEV	OZNAČENÍ
• KLEŠTĚ SESTAVA	01-0000-000
• ROVNÝ RÁM	01-0000-001
• PROSTŘEDNÍ ČEP	01-0000-002
• BOČNÍ ČEP	01-0000-003
• ZÁPADKA	01-0000-004
• NOSNÝ ČEP	01-0000-005
• NOSNÝ ZÁVĚS	01-0000-006
• SVAŘENEC	01-0001-000
• CHAPAČ	01-0001-001
• ZAKŘIVENÝ RÁM	01-0001-002
• DISPOZICE PRACOVIŠTĚ	02-0000-000