Návrh svařované konstrukce pro ustavení lisu

Dominik Smažil

Bakalářská práce
2024

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Dominik Smažil**
Osobní číslo:	**T21044**
Studijní program:	**B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor:	**Technologická zařízení**
Forma studia:	**Prezenční**
Téma práce:	**Návrh svařované konstrukce pro ustavení lisu**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii k danému tématu
2. Navrhněte svařovanou konstrukci pro ustavení lisu
3. Vypracujte technickou dokumentaci
4. Proveďte vyhodnocení výroby navržené konstrukce

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

Seznam doporučené literatury:

Kemka, V, Barták, J, Milčák P, Žitek,P.: Stavba a provoz strojů, stroje a zařízení, Informatorium, Praha, 2009, ISBN 978--80-7333-075-0
Svoboda, P, Brandejs, J, Dvořáček, J, Prokeš, F: Základy konstruování, Cerm, 2008, ISBN 9788072045846,
Shigley, J, E, Mischke, CH, R, Budynas R, G: Konstruování strojních součástí, VUTIUM Brno, 2010, ISBN 978-80–214–2629-0

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jana Knedlová, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2024**

L.S.

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

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

Ve Zlíně dne 4. března 2024

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, považují 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 se zabývá návrhem a konstrukcí svařovaného stolu pro upnutí ručního lisu. V teoretické části jsou popsány technologie dělení materiálu, svařování a ohýbání, které budou využity při konstrukci stolu.

V praktické části je popsán detailní konstrukční návrh stolu s výběrem vhodné varianty. Součástí práce je kompletní výkresová dokumentace, postup výroby a ekonomické vyhodnocení.

Klíčová slova: svařování, ohýbání, rám, konstrukce, dělení materiálu, montáž

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design and construction of a welded table for clamping a hand press. The theoretical part describes the technologies of material cutting, welding and bending that will be used in the construction of the table.

The practical part describes the detailed structural design of the table with the selection of a suitable variant. The work includes complete drawing documentation, production procedure and economic evaluation.

Keywords: welding, bending, frame, construction, material cutting, assembly

Rád bych poděkoval paní Ing. Janě Knedlové, Ph.D. za odborné vedení, ochotu, trpělivost, cenné rady a připomínky, kterými výrazně přispěla k zpracování této bakalářské práce.

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

OBSAH

ÚVOD **9**

I TEORETICKÁ ČÁST **10**

1 DĚLENÍ MATERIÁLU **11**

1.1 Řezání pásovou pilou 12

1.2 Řezání kotoučovou pilou 12

1.3 Řezání rámovou pilou 13

1.4 Řezání laserem 14

1.5 Řezání vodním paprskem 14

2 OHÝBÁNÍ **15**

2.1 Poloměr ohybu 15

2.1.1 Minimální poloměr ohybu 15

2.1.2 Maximální poloměr ohybu 15

2.2 Odpružení 16

2.3 Způsoby ohýbání plechu 16

3 SVAŘOVÁNÍ **18**

3.1 Elektrickým obloukem 18

3.1.1 Elektrický oblouk 19

3.1.2 Svařování obalenou elektrodou 19

3.2 Svařování v ochranné atmosféře 21

3.2.1 Svařování netavnou elektrodou v inertním plynu 22

3.2.2 Svařování tavnou elektrodou v interním plynu 23

3.2.3 Svařování tavnou elektrodou v aktivním plynu 23

3.3 Rozdělení tavných svarů 23

4 POVRCHOVÉ ÚPRAVY **27**

4.1 Nátěry 27

4.2 Nanášecí techniky nátěrových hmot 27

4.2.1 Natírání štětcem 27

4.2.2 Natírání válečkem 28

4.2.3 Stříkání 28

4.2.4 Máčení 28

4.3 Lakování 28

4.4 Povlakování 28

4.5 Galvanické pokovení 29

II PRAKTICKÁ ČÁST **30**

5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE **31**

6 KONSTRUKČNÍ NÁVRH **32**

6.1 VOLBA VARIANTY 32
6.1.1 Varianta 1 32
6.1.2 Varianta 2 33
6.1.3 Výsledná varianta 33
6.2 VOLBA POLOTOVARŮ 33
6.3 VÝPOČTY 34
6.3.1 Připojení ližin k rámu stolu 34
6.3.2 Plochá tyč 35
7 TECHNICKÁ DOKUMENTACE 37
7.1 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE 37
7.2 POSTUP VÝROBY 37
8 VYHODNOCENÍ 39
ZÁVĚR 42
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 43
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 46
SEZNAM OBRÁZKŮ 48
SEZNAM TABULEK 49
SEZNAM PŘÍLOH 50

ÚVOD

Ve světě materiálového inženýrství jsou dělení materiálu, svařování a ohýbání základními technologiemi, které hrají klíčovou roli při zpracování různých typů materiálů. Tyto procesy umožňují nejen tváření materiálů do požadovaných tvarů, ale také ovlivňují jejich vlastnosti a strukturu.

Dělení materiálu představuje proces rozdělování materiálu na menší části s cílem získat požadovaný tvar nebo rozměry. Tento proces může být proveden různými způsoby, včetně řezání, frézování, řezání laserem nebo stříhání, a je klíčovým krokem ve výrobě. [1]

Ohýbání materiálu je technologie, která umožňuje tvarování materiálu do požadovaných křivek nebo úhlů bez narušení jeho struktury či vlastností. Tento proces je zásadní pro výrobu složitých komponentů a konstrukcí v mnoha průmyslových odvětvích, jako je například výroba potrubí, plechových konstrukcí či ohybů ve strojírenství. [2]

Svařování je technologie spojování materiálů pomocí tepelného nebo tlakového procesu, často za vysokých teplot, což umožňuje vytvoření pevných a trvalých spojů. Tato technologie je základním stavebním kamenem v mnoha odvětvích, včetně automobilového, lodního a leteckého průmyslu. [3]

Celkově lze konstatovat, že dělení materiálu, ohýbání a svařování představují klíčové technologie v oblasti zpracování materiálů, které jsou nezbytné pro výrobu široké škály produktů a konstrukcí. Porozumění těmto procesům je nezbytné pro úspěšnou aplikaci a optimalizaci výrobních postupů v různých průmyslových odvětvích.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DĚLENÍ MATERIÁLU

Dělení materiálu je technologický proces, při kterém dochází k rozdělení jednoho kusu obrobku na dva nebo více dílů menších rozměrů. Nepoužitá část materiálu, pokud není příliš malá, obvykle zůstává k dispozici pro použití při výrobě jiných součástí. Dělení materiálu se v praxi běžně používá jako příprava polotovaru pro další zpracování jako je obrábění nebo svařování. [1]

Následně jsou uvedeny nejběžnější metody dělení materiálu.

Dělení řezáním je nejčastěji prováděno za použití kotoučových, rámových nebo pásových pil. Metoda řezání pomocí pil se používá pro dělení materiálu tam, kde nelze použít stříhání z důvodu velkého průřezu materiálu. Nevýhodou je nízká pracovní produktivita, vysoké náklady a ztráty materiálu při řezání. [2]

Dělení lámáním se používá u materiálů s mezí pevností nižší než 600 MPa a materiálů které jsou obtížně obrobitelné. Kvůli nízké kvalitě lomové plochy je běžné, že se v okolí lomové plochy vyskytují trhliny, což omezuje použití této metody. Před lámáním je nutné vytvořit vrub v místě lomu. [2]

Dělení sekáním se využívá v kovárnách jako doplňková operace k odstranění nadbytečného materiálu. Provádí se pomocí bucharů a lisů a je vhodna pro dělení tlustých kovových profilů a polotovarů. [2]

Dělení rozbrušováním se děje za přítomnosti úzkého brusného kotouče. Během tohoto procesu dochází k prudkému zvýšení teploty v řezné ploše a k místnímu tepelnému ovlivnění. To vede ke vzniku značného otřepu. Nicméně tato metoda je produktivnější než předchozí a umožňuje dělení v řádu sekund. [2]

Dělení laserovým paprskem je velmi efektivní metodu dělení materiálu s ohledem na úzký a přesný řez bez otřepu. Laserovými zařízeními lze provádět řezání jak kovových, tak i nekovových materiálů. [3]

Dělení vodním paprskem je účinný způsob dělení materiálu. Materiál je oddělován pomocí vodního paprsku. Je to bezkontaktní metoda, která se hodí pro řezání materiálů citlivých na teplo, jako jsou kompozity a plasty. [4]

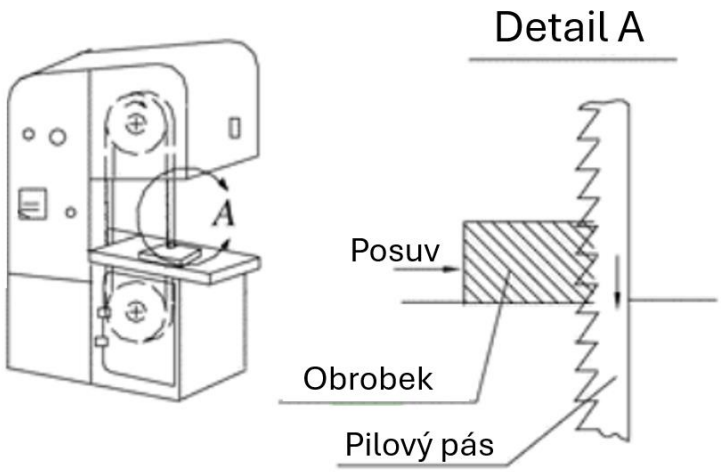
Dělení stříháním je nejčastěji používanou technologickou operaci při tváření ve strojírenské výrobě. Tato metoda se obvykle využívá pro materiály s menším průřezem a v případech, kdy je důležitá vysoká přesnost řezu a minimalizace ztrát materiálu. Materiál může být stříhán buď za studena, nebo za tepla. [2]

1.1 Řezání pásovou pilou

Pásové pily se dělí na vertikální a horizontální. Řezání je provedeno nekonečným pilovým pásem, který je napínán mezi hnacím a hnaným kotoučem a veden kladkami v blízkosti řezu. Mohou být použity pro velký rozsah velikostí řezaného obrobku. [5]

Vertikální pásové pily se používají k přímému i obrysovému řezání plechů nebo desek umístěných na vodorovném stole. Nástroj se pohybuje konstantní řeznou rychlostí a obrobek se do místa řezu posouvá. [6]

Horizontální pásové pily mají kotouče mírně nahnuty k vodorovné rovině a obvykle se používají k řezání jako alternativa k rámové pile. Nástroj se pohybuje konstantní řeznou rychlosti a zároveň se zařezává do pevně upnutého obrobku. [6]

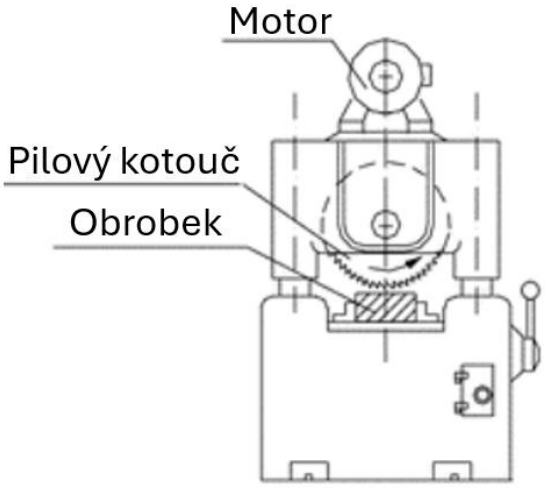


Obrázek 1 Vertikální pásová pila [6]

1.2 Řezání kotoučovou pilou

Řezání kotoučovou pilou je odlišné od ostatních způsobů řezání, protože se při něm používá rotující kotouč. Pilový kotouč je upnut na vřeteni a vykonává otáčivý pohyb a zároveň se pohybuje proti pevně upnutému obrobku. [6]

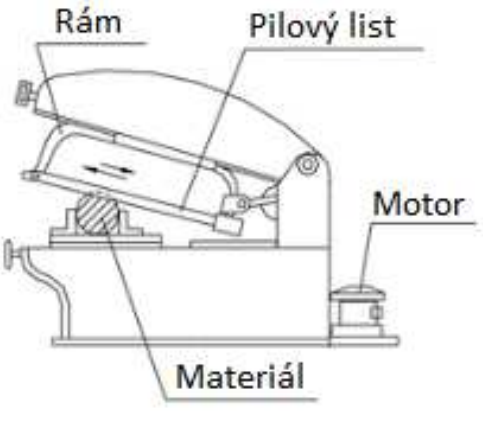
Hloubka řezu kotoučové pily je omezena na jednu třetinu průměru kotouče, což brání řezání součástí s větším průřezem. Malé kotouče mají zuby vyřezané po celém obvodu, zatímco u velkých kotoučů se používají segmentované nebo vložené břitové destičky ze slinutých karbidů, které jsou k tělu kotouče připevněny pájením nebo šrouby. [6]



Obrázek 2 Kotoučová pila [6]

1.3 Řezání rámovou pilou

Při řezání je rovný a relativně krátký pilový list upevněn v rámu, který je poháněn elektrickým motorem tam a zpět a posouván přes upevněný materiál buď působením gravitace nebo hydraulicky. Tato metoda v podstatě simuluje ruční řezání. Řezání obvykle probíhá na "tlačném zdvihu", což znamená směrem od otočného bodu rámu. U pokročilejších modelů se rám mírně zdvihá a zrychluje při zpětném zdvihu, což zvyšuje účinnost procesu a snižuje opotřebení pilového listu (Obr. 3). [6]



Obrázek 3 Rámová pila [6]

1.4 Řezání laserem

Laserové řezací stroje fungují tím, že soustředí laser na velmi malý bod, čímž vytvářejí bod s velmi vysokou intenzitou energie na pracovním kusu. Materiál poté hoří, taví se a odpařuje se nebo je odstraněn proudem plynu. Výsledkem je okraj s kvalitním povrchem. [1]

Laserové řezání nabízí výhody v podobě dobrých tolerancí a kvalitní dokončení povrchu, malé tepelně ovlivněné zóny a rychlé práce s tenkými plechy. Na druhou stranu jsou zde nevýhody spojené s vysokými nároky na výkon, omezenou velikostí stolu a dílů vzhledem k optickým omezením, a také s cenou. [1]

Dříve bylo laserové řezání vzhledem k jeho vysokým nákladům využíváno pouze pro speciální aplikace. Díky současným technologiím a rychlosti řezání se však stalo vysoce konkurenceschopným procesem, pokud je pracovní zatížení dostatečné k tomu, aby stroj pracoval nepřetržitě. Typický vysokoproduktivní stroj má více stolů, které umožňují nakládání materiálu současně s řezáním, čímž se eliminují přestávky způsobené nakládáním a vykládáním materiálu. [1]

1.5 Řezání vodním paprskem

Řezání materiálů pomocí vodního paprsku se provádí pomocí extrémně vysokotlakého proudu vody s příměsí abraziv. Tento proces využívá velmi malé trysky, což umožňuje dosahování jemných řezů a práci v úzkých tolerancích. [1]

Mezi výhody řezání vodním paprskem patří řezání téměř jakéhokoliv materiálu, přesné tolerance a kvalitní dokončení povrchu, žádné teplotně ovlivněné zóny. Tento proces umožňuje rychlé řezání tenkých plechů. Nevýhody zahrnují pomalejší řeznou rychlost, která se liší v závislosti na požadované kvalitě povrchu, tloušťce řezaného materiálu a použitém abrazivu a tlaku vody. [1; 4]

2 OHÝBÁNÍ

Ohýbání je technologický proces tváření, při kterém dochází k pružné i trvalé deformaci materiálu změnou jeho tvaru. Materiál se ohne kolem určité osy, aniž by došlo k jeho trhlinkám nebo lomům. Během ohýbání se vlákna materiálu na vnější straně ohybu natahují, zatímco na vnitřní straně se stlačují. Prostřední část materiálu si zachovává původní délku vláken. [2; 6]

2.1 Poloměr ohybu

Jedním z nejdůležitějších faktorů, které ovlivňují kvalitu ohýbaného materiálu, je poloměr ohybu, který musí být uvnitř definovaných mezí. Poloměr ohybu odpovídá zakřivení ohýbaného obrobku, měřeného na vnitřním povrchu ohybu, který souvisí s nástrojem. [6]

2.1.1 Minimální poloměr ohybu

Minimální poloměr ohybu je definován jako hranice, pod kterou nelze ohýbat plech, aniž by došlo k trhlinám nebo prasknutí. Minimální poloměr, na který lze obrobek bezpečně ohnout, se obvykle vyjadřuje z hlediska tloušťky materiálu. Koeficient pro ocel bývá v rozmezí 0,5 – 0,6. Minimální poloměr ohybu je dán následujícím vzorcem. [6]

$$R_{\mathrm{i(min)}} = c * t \tag{1}$$

t – tloušťka materiálu [mm]

c – koeficient [-]

2.1.2 Maximální poloměr ohybu

Definuje se jako největší poloměr, okolo kterého lze materiál ohnout. K dosažení trvalé deformace je potřeba překročit mez kluzu materiálu v krajních vláknech. Pokud by nedošlo k překročení meze kluzu, materiál by se vlivem pružných deformací vrátil zpět do původního stavu. [6]

$$R_{\mathrm{i(max)}} = \frac{t}{2}\left(\frac{E}{R_{\mathrm{e}}} - 1\right) \tag{2}$$

E – modul pružnosti v tahu [MPa]

R_e– mez kluzu [MPa]

2.2 Odpružení

Materiál má tendenci se po odstranění vnější síly, která ho deformovala, částečně vracet do svého původního tvaru. To je způsobeno pružnou deformací, která působí zároveň s trvalou deformací materiálu. Míra odpružení je ovlivněna převážně mechanickými vlastnostmi, tloušťkou materiálu a poloměrem ohybu. Kompenzace odpružení lze provést např. zvětšením úhlu odpružení nebo zpevněním materiálu v místě ohybu. [6]

Ohýbání do tvaru V:

$$tg\beta = 0{,}375 * \frac{l}{k*t} * \frac{R_e}{E} \quad (3)$$

Ohýbání do tvaru U:

$$tg\beta = 0{,}75 * \frac{l_m}{k*t} * \frac{R_e}{E} \quad (4)$$

β – úhel odpružení [°]

l_m– rameno ohybu [mm]

k – součinitel určující polohu neutrální osy [-]

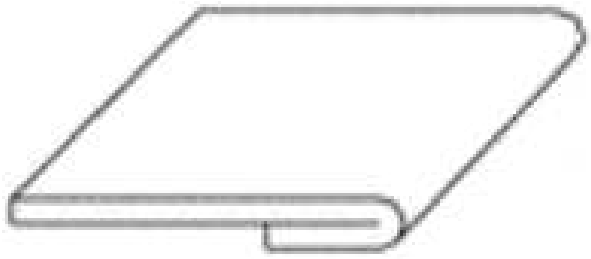
2.3 Způsoby ohýbání plechu

Ohýbání prosté je základní technologický proces tváření, při kterém se materiál, ohýbá do požadovaného tvaru bez použití zvláštních forem nebo nástrojů. Tento proces se často provádí ručně nebo pomocí jednoduchých mechanických zařízení, jako jsou například ohýbací lisy. [7]

Lemování je ohýbací operace, která spočívá v tvarování hran materiálu do pravého úhlu nebo do jiného specifického úhlu (Obr. 4). Tato operace se často používá k posílení a estetickému zlepšení okraje materiálu, jako jsou plechy nebo desky. [6]

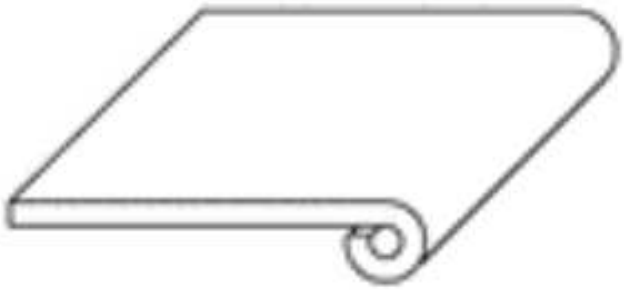
Obrázek 4 Lemování [8]

Ohraňování je proces ohýbání okraje plechu zpět k jeho hlavní ploše, při kterém se hrana plechu ohýbá sama na sebe (Obr. 5). Často se využívá k odstranění otrhaných okrajů a zlepšení tuhosti hrany. [6]



Obrázek 5 Ohraňování [6]

Zakružování plechu je proces tváření, při kterém se rovinný plech ohýbá do tvaru válce nebo kruhu (Obr. 6). Tato metoda je často využívána při výrobě trubek a dalších válcovitých komponent. Nejčastěji se provádí na tříválcových zakružovačkách. [6]



Obrázek 6 Zakružování [6]

Drápkování také nazývané zámkovým spojem je operací, při které se spojují dvě hrany plechu způsobem, že se okraj jedné části ohne a připevní k okraji druhé části (Obr. 7). Tato operace vytváří pevný a těsný spoj. Běžně se využívá k výrobě konzerv nebo uzavřených nádob. [6]

Obrázek 7 Drápkování [6]

3 SVAŘOVÁNÍ

Svařování je klíčová technologie v mnoha průmyslových odvětvích a má širokou škálu využití. Jde o trvalé spojování dvou součástí za vysokých teplot v jeden nerozebíratelný celek (svarek). [9]

Svařování často nahrazuje nýtování, objemné kovové výkovky a odlitky, a to i u složitých součástí, které by se jinými technologiemi nedaly vyrobit. Rovněž se hojně využívá v opravárenství, protože umožňuje opravovat poškozené součásti nanášením kovů a slitin na opotřebované plochy, které jsou vystaveny abrazi a tím lze prodloužit životnost těchto součástí. [9]

V kusové výrobě je svařování používáno k výrobě jednotlivých kusů nebo malých sérií. Do kusové výroby můžeme zařadit výrobu prototypů, součástí na míru nebo k opravě poškozených součástí a strojů. V sériové výrobě se svařování využívá k výrobě velkého množství identických výrobků. Ke svařování se využívají robotické svařovací linky, které se využívají při výrobě karoserií automobilů, rámů a dalších komponent. [9]

Svařovat lze jen svařitelné materiály. Svařitelnost je technologická vlastnost materiálu, která je dána chemickým složením základního i přídavného materiálu i druhu svařování. Při svařování se často používají oceli, a jejich schopnost být svařovány je určena jejich chemickým složením. Hlavním faktorem ovlivňujícím svařitelnost, je obsah uhlíku. Čím vyšší je tento obsah, tím obtížněji se daná ocel svařuje, proto je důležité, aby obsah uhlíku ve svařitelných ocelích nepřesáhl 0,2 % a tím se zajistila optimální svařitelnost. [3]

Svařování se rozděluje podle způsobu vytvoření svarového spoje na tavné a tlakové. Při tavném svařování dochází ke smíšení materiálů jejich roztavením a po vychladnutí vzniká pevné spojení těchto součástí v jeden celek. U tlakového svařování dochází k zahřátí materiálu těsně pod teplotu tavení a poté se k sobě stlačí silou. [10]

3.1 Elektrickým obloukem

Obloukové svařování patří do skupiny tavného svařování. Ke vzniku svarové lázně se využívá extrémní teplo elektrického oblouku. Obloukové svařování je jedním z prvních svařovacích procesů a stále zůstává velmi populární, zejména díky nízkým nákladům na zařízení, přenosnosti a flexibilitě. Mezi nejpoužívanější metody svařování elektrickým obloukem patři svařování obalenou elektrodou, svařování v ochranné atmosféře, svařování pod tavidlem a svařování plazmou. [11]

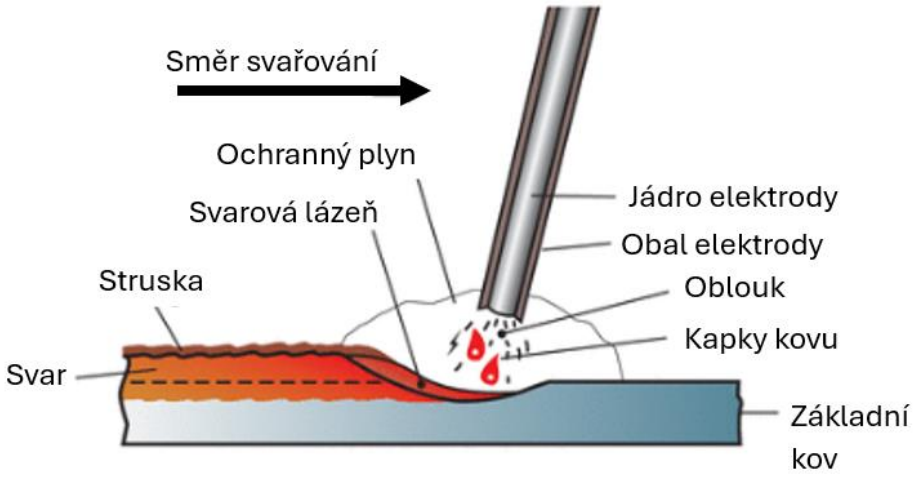
3.1.1 Elektrický oblouk

Elektrický oblouk je druh elektrického výboje, který vzniká mezi elektrodami, když je mezi nimi připojeno dostatečné napětí. Toto napětí způsobí ionizaci plynu. Ionizace nastává, když atomy plynu ztratí vázané elektrony, které se pak mohou v plynu volně pohybovat a vytvářet elektrický proud. Tyto volné elektrony získávají energii z elektrického pole, které je vytvořeno přiloženým napětím, a narážejí do dalších atomů plynu. Jakmile je plyn vysoce ionizován, stává se pro elektrony relativně snadné proudit a za správných podmínek může vzniknout stabilní elektrický oblouk. [11]

Ionizovaný plyn se skládá z volných elektronů, které proudí jedním směrem, a kladných iontů proudících opačným směrem. Srážky s převážně neutrálními atomy způsobují obrovské odporové zahřívání plynu. Extrémní teplo také udržuje proces ionizace. V důsledku vysokých teplot dochází k vyzařování elektromagnetického záření, což způsobuje charakteristickou záři oblouku. Kromě viditelného světla se emituje velké množství neviditelného infračerveného a ultrafialového záření. Ionizovaný zářící plyn, který tvoří oblouk, se často označuje jako plazma. Aby mohl oblouk trvale existovat, musí být zdroj energie schopen dodávat vysoký proud a nízké napětí, které oblouk požaduje. [11]

3.1.2 Svařování obalenou elektrodou

Svařování obalenou elektrodou, je metoda svařování, která využívá elektrický oblouk k roztavení kovu a vytvoření svarového spoje. Při tomto procesu se používá tavná elektroda, která je obalena tavidlem. Během hoření oblouku se elektroda i základní materiál taví a kov se ukládá do svarové lázně. Současně se z obalu elektrody tvoří struska, která chrání svarovou lázeň během chladnutí. Po vychladnutí ztuhne a je nutné ji odstranit. [12]



Obrázek 8 svařování obalenou elektrodou [13]

Rozdělení elektrod

Elektrody mohou být tavné nebo netavné. Netavné elektrody mohou být wolframové nebo uhlíkové a slouží pouze k vytvoření elektrického oblouku a do svaru nedodávají žádný kov. Naproti tomu tavné elektrody, které obvykle obsahují materiál podobný svařovanému kovu, a při působení tepla taví a dodávají materiál do svarové lázně. Tavné elektrody se dále dělí na holé a obalené. [3]

Holé elektrody, které se skládají pouze z kovového jádra bez obalu se používají výhradně pro svařování v ochranné atmosféře nebo při svařování pod tavidlem.

Obalené elektrody se skládají z jádra a obalu. Jádro tvoři vnitřní část elektrody v podobě drátu a slouží jako přídavný materiál. Obal je vrstva nekovového materiálu, která obklopuje jádro. Účelem obalu je zabránit oxidaci svarové lázně, stabilizovat hoření oblouku a dodat do svarové lázně legující prvky, elektrodami mohou být: [12]

- **kyselé obaly** obsahují oxidy železa a křemíku, jsou tavitelné při vyšších proudech. Jsou známé svou vysokou pracovní účinností a vytvářejí rozsáhlé závary. Svary vytvořené těmito elektrodami jsou náchylnější ke vzniku krystalizačních trhlin, a to kvůli nedokonalé rafinaci síry a fosforu. Svarový kov má sice nižší pevnost, ale zato má vyšší houževnatost. Jsou vhodné pro svařování šedých a tvárných litin a ocelí s nízkým obsahem uhlíku. [12; 14]
- **bazické obaly** elektrod se vyznačují specifickým složením, které zajišťuje stabilní oblouk a nízký obsah vodíku ve svarovém kovu. Výsledkem jsou vysoce kvalitní svary s nízkým obsahem pórovitosti a dobrými mechanickými vlastnostmi. Díky těmto vlastnostem jsou bazické obaly vhodné pro svařování uhlíkových a nízkolegovaných ocelí. Nevýhodou je potom vyšší cena a citlivost na vlhkost, proto je důležité elektrody před použitím vysušit. [12; 14]
- **rutilové obaly** elektrod obsahují oxid titaničitý, buď rutil nebo ilmenit, dále vápenec, oxid křemičitý a další. Velikost vzniklého závaru je relativně malá, proto se nedoporučuje svařovat tlusté plechy těmito elektrodami. Elektrody nejsou náchylné na vlhkost a produkují menší rozstřik, díky čemu jsou práce s těmito elektrodami čistější a komfortnější. Jsou odolné vůči přetížení a lze s nimi pracovat jak s proudem stejnosměrným, tak střídavým. Jsou vhodné pro svařování tenkých plechů a standartních konstrukčních ocelí. [12; 14]

3.2 Svařování v ochranné atmosféře

Hlavním důvodem použití ochranného plynu je ochrana svarové lázně před negativními účinky vzduchu. Dokonce i malé množství kyslíku ve vzduchu může způsobit oxidaci kovu a tvorbu struskových inkluzí. Dusík se rozpouští v tavenině, ale jak tavenina tuhne, jeho rozpustnost klesá a odpařující se plyn vytváří póry. Dusík rovněž tvoří nitridy, které mohou způsobovat křehkost. Ochranný plyn má také vliv na svařovací vlastnosti a hraje významnou roli v průvaru a geometrii svarového spoje. [3]

Ochranné plyny pracují ve spojení s dalšími složkami svařovacího procesu k ochraně roztaveného kovu během svařování. Při svařování metodou MIG s tavnými elektrodami je deoxidace částečně závislá na složení elektrody a částečně na ochranném plynu. Elektroda obsahuje prvky, jako je například křemík, který reaguje s kyslíkem a vytváří oxidy ve strusce, které se obvykle objevují jako malé ostrůvky na povrchu. [3]

Správná čistota ochranného plynu a jeho proudění jsou zásadní. Nedostatečná rychlost proudění plynu nedokáže účinně chránit svarovou lázeň před stykem se vzduchem. Příliš vysoká rychlost může vést k vytvoření podtlaku, který nasaje vzduch a opět ohrožuje kvalitu svaru. Optimální množství plynu se obvykle pohybuje mezi 10 až 20 litry za minutu, přičemž konkrétní hodnota závisí na konstrukci hořáku, jeho velikosti a tvaru spoje. Vítr a průvan také přispívají ke zhoršení kvality spoje. [2]

Volba vhodného ochranného plynu při svařování závisí na typu materiálu, svařovacím procesu, požadované kvalitě, dostupnosti a pracovních podmínkách. Jako ochranné plyny zle použít argon, helium, oxid uhličitý a kyslík.

Argon je chemicky interní plyn a běžně se používá při svařování metodou TIG pro neželezné kovy. Je relativně jednoduše ionizovatelný a tím poskytuje stabilní oblouk. Tato vlastnost také umožňuje relativně dlouhé oblouky při nižších napětích. Je vhodný pro všechny druhy svařovacích materiálů, včetně citlivějších materiálů jako jsou hliník a nerezová ocel. [15]

Helium je stejně jako argon interní plyn. Poskytuje vyšší přenos tepla do spoje, což vede k širšímu a hlubšímu průniku a pomáhá tím chránit proti horkému praskání a pórovitosti. Často se kombinuje s argonem pro ruční svařování, aby se vyvážily výhody hlubšího průvaru se snadnější kontrolou. Mezi nevýhody používání helia patří jeho vysoká cena, obtížné ovládání oblouku a horší ochrana svaru kvůli jeho nižší hustotě. [15]

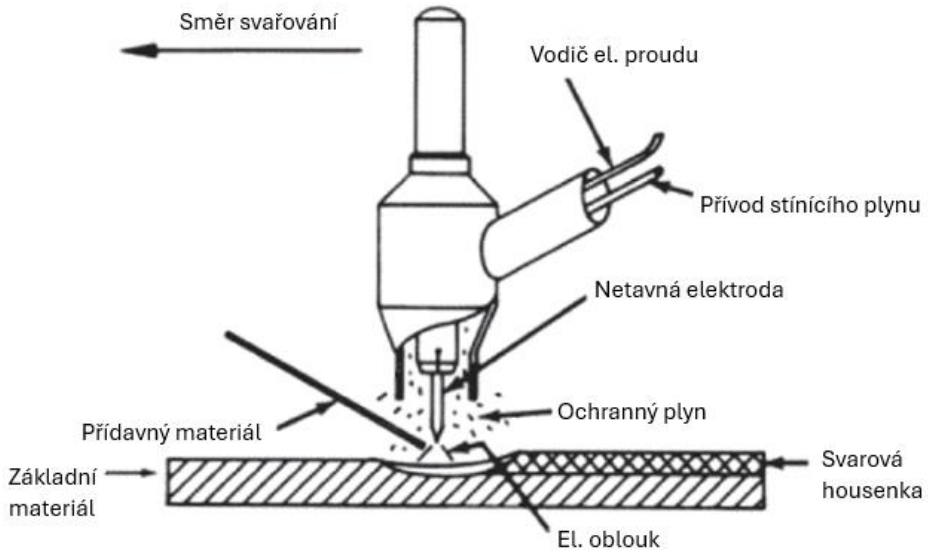
Oxid uhličitý je velmi levný a dostupný plyn. Umožňuje dosahovat hlubšího průvaru a vyšší svařovací rychlosti. Nevýhodou je náchylnost k pórovitosti a produkuje rozstřik. Použití je vhodné pro svařování pozinkované oceli a tlustých materiálů. [3]

Kyslík se často používá jako přídavný plyn pro stabilizaci oblouku. Umožňuje dosáhnout hlubšího průvaru a zlepšuje smáčivost což vede k hladším a esteticky příjemným svarům. Mezi jeho nevýhody patří zhoršená odolnost svaru proti korozi a jeho náchylnost k pórovitosti. [3]

3.2.1 Svařování netavnou elektrodou v inertním plynu

Svařování netavnou elektrodou v inertním plynu (TIG) je mezi procesy svařování elektrickým obloukem poněkud jedinečné. Je tomu tak díky tomu, že k vytvoření oblouku používá netavnou wolframovou elektrodu. Vzhledem k tomu, že oblouk a přídavný drát jsou nezávislé na sobě, umožňuje metoda TIG mnohem přesnější regulaci tepelného vstupu a svarové lázně. Protože proces nezahrnuje roztavený svarový kov procházející obloukem, nevzniká žádný rozstřik roztaveného kovu. V kombinaci s tím, že obvykle používá inertní ochranný plyn, se často považuje za schopný vytvářet nejkvalitnější svarové spoje ze všech procesů svařování elektrickým obloukem. V některých případech také nabízí možnost svařování bez přídavného kovu, což se nazývá autogenní svařování. [3; 11]

Mezi hlavní výhody patří výborná kontrola nad svarovou lázní, možnost svařovat obtížně svařitelné materiály a pěkný tvar svarové housenky. Nejčastěji se používá pro svařování nerezových oceli, niklových a hliníkových slitin. [11]



Obrázek 9 Princip svařování metodou TIG [11]

3.2.2 Svařování tavnou elektrodou v interním plynu

Svařování tavnou elektrodou v interním plynu (MIG) je technologie, při které je jako ochranný plyn používán argon nebo jeho směs s heliem. Jako elektroda se při tomto procesu používá kontinuálně podávaný svařovací drát, který slouží jako elektroda a zároveň tvoří materiál pro svarovou lázeň. [3]

Metoda MIG je široce využívána v průmyslové výrobě, karosářském průmyslu, stavbě lodí, konstrukcích mostů a v dalších oblastech. Její hlavní výhody zahrnují vysokou produktivitu díky rychlému svařování a jednoduchému ovládání. Tento postup umožňuje svařování různých materiálů, včetně hliníku a nerezové oceli. Mezi nevýhody svařování MIG patří vyšší finanční náklady na spotřební materiál, jako je svařovací drát a ochranný plyn, což může zvýšit celkové provozní náklady. Přesto je svařování MIG stále jedním z nejoblíbenějších a nejvšestrannějších svařovacích procesů díky své efektivitě a širokému spektru aplikací. [3]

3.2.3 Svařování tavnou elektrodou v aktivním plynu

Svařování metodou MAG, známé také jako svařování tavnou elektrodou v aktivním plynu, je totožný způsob svařování jako metodou MIG. Rozdílem mezi těmito metodami je v použitém ochranném plynu. U svařování metodou MAG se jako ochranný plyn nejčastěji využívá oxid uhličitý s přídavkem kyslíku nebo argonu. Využívá se pro svařování nízkouhlíkových a nízkolegovaných ocelí. [3]

3.3 Rozdělení tavných svarů

Vlastnosti a použití svarů lze rozdělit podle několika hledisek:

- *podle vzájemné polohy a tvaru průřezu* svařovaných součástí se tupé svary nacházejí ve stykové ploše dvou součástí a spojují je v jedné rovině, koutové svary se používají při svařování dvou na sebe kolmých součástí, lemové svary vznikají roztavením lemových okrajů, a využívají se pro svařování tenkých plechů (do 3 mm), pro spojování plochých součástí se používají děrové a žlábkové svary [10]
- *podle polohy svaru vzhledem k působící síle* jsou čelní svary umístěny kolmo k působící síle a spojují součásti v jedné rovině, boční svary jsou umístěny rovnoběžně s působící silou, šikmé svary jsou umístěny v úhlu k působící síle a používají se pro spojování součástí, která se nedají svařovat čelně ani bočně [10]

Tavné svary se označují ve výkresové dokumentaci dle normy, viz Obr. 10.

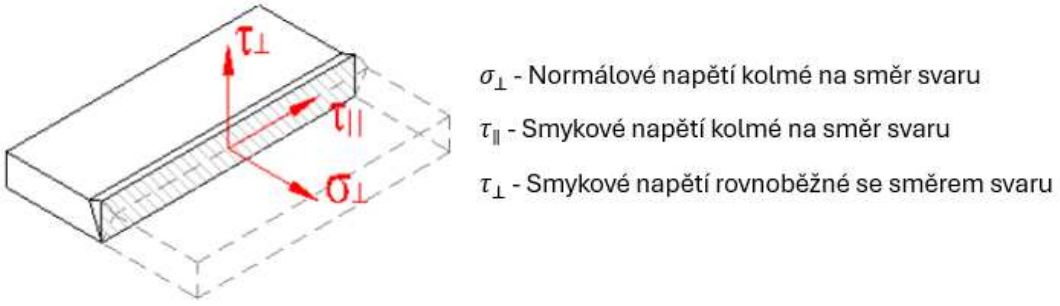
Obrázek 10 Značení svarů [16]

Velikosti svarů

Volba vhodné velikosti svaru je důležitá pro zajištění pevnosti a trvanlivosti spoje. Výběr optimální velikost svaru závisí na typu svaru, vlastnosti svařovaného materiálu, jeho tloušťce a zatížení, kterému bude svar vystaven. [17]

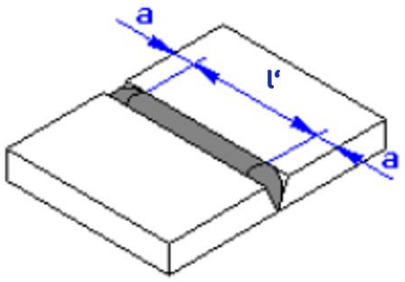
Výpočet tupých svarů

Tupý svar (Obr. 11) je typ svarového spoje, kde jsou dva obrobky umístěny ve stejné rovině a jejich boční plochy jsou spojeny svarem. Jedná se o jeden z nejběžnějších typů svarových spojů používaných při výrobě potrubí a konstrukcí. Pro dosažení ideální kvality je často nutné upravit povrchy, které se mají spojit. Způsob úpravy těchto ploch se liší v závislosti na konkrétní konstrukci spoje, tloušťce materiálu a typu svařovacího procesu. [17]



Obrázek 11 Namáhání tupých svarů [17]

Při běžných výpočtech tupých svarů se obvykle nezohledňuje typ svaru. Nosný průřez se určuje pouze na základě tloušťky tenčího materiálu a délky svaru (l). Toto zjednodušení postačuje pro běžné aplikace, kde není nutná vysoká přesnost. V případě přesnějších výpočtů, kde je prioritou maximální pevnost a přesnost svaru, je vhodné zohlednit i délku svaru s předepsaným průřezem (l'). Tímto se zohlední i vliv koncových kráterů na začátku i konci svaru a výpočet nosného průřezu bude přesnější. [17]



Obrázek 12 Nosná délka svaru [17]

Nosná délka svaru:

$$l' = l - 2a \tag{5}$$

Výpočtový průřezu svaru:

$$A_{\mathrm{w}} = a * l' \tag{6}$$

Namáhání svaru na tah:

$$\sigma_{\perp}^{F_{\perp}} = \frac{F_{\perp}}{A_{\mathrm{w}}} \tag{7}$$

Namáhání svaru na ohyb:

$$\sigma_{\perp}^{M_{\mathrm{o}}} = \frac{M_{\mathrm{o}}}{W_{\mathrm{os}}} = \frac{6*M_{\mathrm{o}}}{s^2*l'} \tag{8}$$

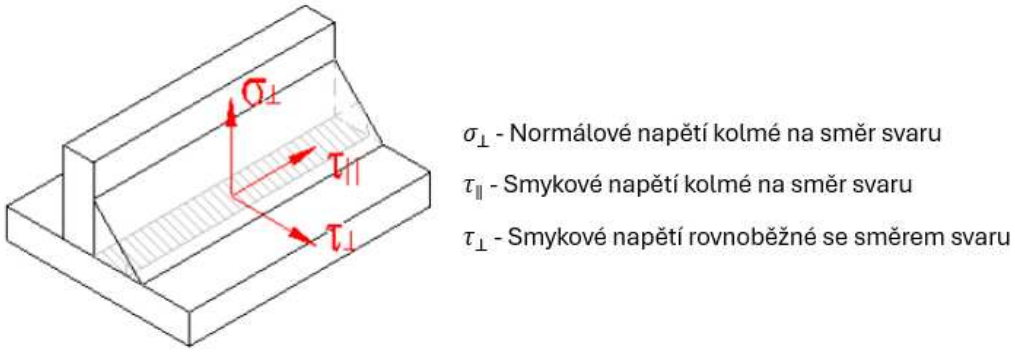
Namáhání svaru na smyk:

$$\tau_{\parallel}^{F_{\parallel}} = \frac{F_{\parallel}}{A_{\mathrm{w}}} \tag{9}$$

Výpočet koutových svarů

Koutové svary (Obr. 13) se vyznačují umístěním podél klínové hrany spojovaných dílů a jejich základní profil připomíná rovnoramenný pravoúhlý trojúhelník. Tato geometrie umožňuje dosáhnout vysoké mechanické pevnosti a odolnosti svaru. [17]

Výpočet koutových svarů je komplexnější než výpočet tupých svarů, jelikož zohledňuje více parametrů a geometrických vlastností svaru. Základní principy ale zůstávají podobné. [17]



Obrázek 13 Namáhání koutových svarů [17]

Namáhání svaru na tah:

$$\sigma_{\perp} = \frac{F_z}{A_w} \tag{10}$$

Namáhání svaru na ohyb:

$$\sigma_{\perp} = \frac{M * r_y}{I} \tag{11}$$

Namáhání svaru na smyk:

$$\tau_{\perp} = \frac{F_x}{A_w} \tag{12}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_y}{A_w} \tag{13}$$

Namáhání svaru kroutícím momentem:

$$\tau_{\perp} = \frac{T * r_y}{J_w} \tag{14}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{T * r_x}{J_w} \tag{15}$$

4 POVRCHOVÉ ÚPRAVY

Povrchová úprava je proces aplikace materiálu na povrch určitého objektu za účelem změny jeho vlastností, vzhledu nebo ochrany. Používá se k dosažení různých cílů, jako je ochrana materiálu před korozí, zlepšení estetického vzhledu, zvýšení odolnosti proti opotřebení nebo zlepšení adheze pro následnou úpravu povrchu, jako je například lak nebo barva. Do povrchových úprav můžeme zařadit nátěry, pokovování, galvanizace, tepelné zpracování, broušení, leštění a chemické procesy. Je důležitou součástí výrobního procesu a pomáhá prodloužit životnost a zlepšit výkon výrobku. [18]

4.1 Nátěry

Nátěry jsou vrstvy tekutých materiálů, které se aplikují na povrchy různých materiálů za účelem ochrany, estetického zlepšení nebo dodání specifických vlastností. Tyto materiály jsou obvykle složeny z pojiv, rozpouštědel, pigmentů a přísad, které spolu tvoří homogenní směs. Před aplikací je důležité připravit povrch, odstranit nečistoty a zajistit správné adhezní vlastnosti. Nátěry jsou široce využívány v různých odvětvích, včetně stavebnictví, automobilového průmyslu, nábytku a uměleckých aplikací. Nanášení nátěrových hmot je možné realizovat různými způsoby, které umožňují aplikaci nátěru na různé plochy s různými vlastnostmi. [18]

4.2 Nanášecí techniky nátěrových hmot

Nanášení nátěrových hmot je klíčovou etapou v mnoha průmyslových procesech, od ochrany kovů před korozí až po estetické zdokonalení produktů. Existuje mnoho různých technik nanášení nátěrů, z nichž každá má své vlastní vlastnosti, výhody a nevýhody. Volba správné techniky pro danou aplikaci závisí na řadě faktorů, jako jsou požadované vlastnosti nátěru, typ podkladu, dostupné vybavení a rozpočet. [18]

4.2.1 Natírání štětcem

Pro aplikaci nátěru na materiál se používá štětec. Metoda natírání štětcem je vhodná pro menší plochy nebo detailní práce a umožňuje aplikaci nátěru na těžko dostupných místech. Nevýhodou je malá produktivita a výsledný povrch nátěru není tak kvalitní jako při aplikaci jiných technik nanášení. [18]

4.2.2 Natírání válečkem

Pro aplikaci nátěrové hmoty se využívá váleček, který je ideální pro natírání rozsáhlých, hladkých ploch, jako jsou velké nádrže, lodní konstrukce, omítky a podobně. Produktivita této techniky je v porovnání s natíráním štětcem až dvakrát vyšší. Nicméně tato metoda není vhodná pro aplikaci na všechny tvary povrchů. [18]

4.2.3 Stříkání

Stříkání je v dnešní době jeden z nejrozšířenějších nanášecích způsobů hlavně v průmyslové výrobě. Postřikem se nátěrová hmota aplikuje pomocí stříkací pistole, což umožňuje rychlé pokrytí rozsáhlých ploch a dosažení rovnoměrného povrchu. [18]

4.2.4 Máčení

Máčení představuje postup nanášení nátěrové hmoty, kdy se předmět ponoří do nádoby obsahující nátěrovou hmotu a poté se pomalu vytahuje ven. Při vynořování nadbytečná nátěrová hmota odkapává a zbývající vrstva tvoří finální povrchový nátěr. Tato metoda má omezenou použitelnost v závislosti na rozměrech výrobku. [18]

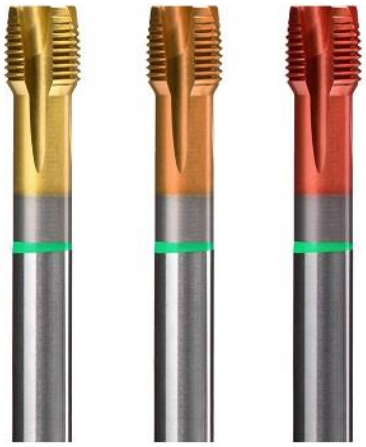
4.3 Lakování

Povrchové úpravy lakováním spočívají v aplikaci tenké vrstvy laku na povrch materiálu nebo předmětu za účelem ochrany povrchu před vnějšími vlivy, jako jsou vlhkost, oxidace nebo UV záření. Lakování se také používá k estetickému zlepšení, přidání barvy nebo lesku. Tento proces obvykle zahrnuje několik kroků, včetně přípravy povrchu, aplikace základního nátěru, pokračování s hlavním nátěrem a často i následných vrstev pro ochranu nebo lesk. Laky bývají bezbarvé nebo jen mírně tónované. Lakování může být provedeno různými technikami, včetně použití štětce, válečku, stříkací pistole nebo ponorového lakování. Tento proces je běžně používán v automobilovém průmyslu, nábytkářství a uměleckém průmyslu. [19]

4.4 Povlakování

Povlakování je technologií, při níž se na povrch materiálu nebo nástroje aplikuje tenká vrstva ochranného materiálu. Tato vrstva zvyšuje odolnost materiálu vůči opotřebení, mechanickým nárazům, teplotním výkyvům, účinkům chemikálií, erozi a vysokým teplotám.

Mezi materiálem a povlakem se obvykle aplikuje mezivrstva, která rozděluje namáhání mezi materiálem a povlakem a poskytuje ochranu proti korozi a oxidaci. Tato mezivrstva obvykle dosahuje šířky od 2 do 15 mikrometrů. Povlaky mohou být jednovrstvé nebo složené z více vrstev. Často se jako povlak používají TiC, TiN, Al_2O_3. [20]



Obrázek 14 Povlakované nástroje [21]

4.5 Galvanické pokovení

Je jednou z nejdůležitějších povrchových úprav ve strojírenství. Galvanické pokovení je proces, při kterém se na povrch materiálu nebo předmětu aplikuje kovová vrstva pomocí elektrochemického procesu zvaného galvanizace. Tento proces využívá elektrolytu a elektrického proudu k přenosu kovových iontů z anody (obvykle kovového materiálu) na katodu (povlakovaný předmět). Galvanické pokovení se často používá k ochraně povrchů proti korozi, zvýšení odolnosti proti opotřebení a estetickému zlepšení vzhledu. [22]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem práce je návrh svařované konstrukce pro ustavení lisu, který slouží k vytlačování sodíku a draslíku.

Cíle práce:

- Výpočet konstrukčního návrhu
- Výkresová dokumentace
- Výrobní dokumentace
- Ekonomické vyhodnocení

6 KONSTRUKČNÍ NÁVRH

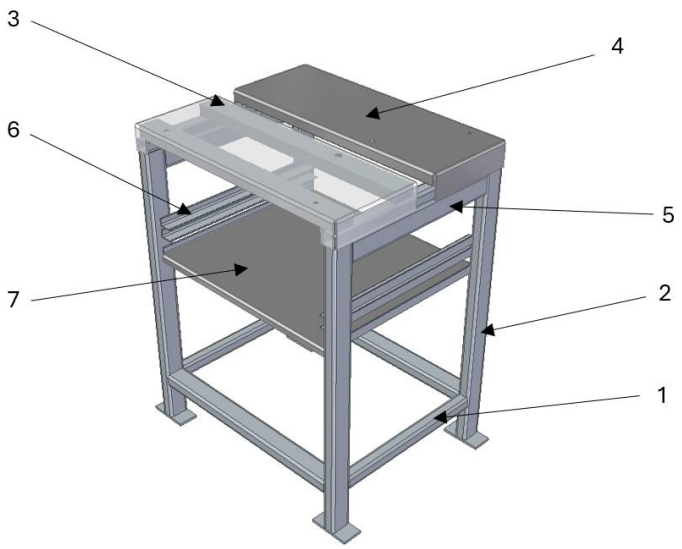
Pro správný konstrukční návrh svařovaného stolu je nutná správná volba vhodného materiálu, což zahrnuje ocelové profily různých průřezů s adekvátní tloušťkou pro dosažení požadované stability a pevnosti. Dále je potřeba přemýšlet o rozměrech a geometrii stolu podle zamýšleného použití. Stůl by měl být dostatečně stabilní a odolný v souladu s těmito požadavky. Další důležitou součástí návrhu je povrchová úprava. Z důvodu že svařovaný stůl bude vystaven korozivnímu prostředí je potřeba aplikovat vhodnou povrchovou úpravu pro ochranu proti korozi.

6.1 Volba varianty

Součástí správného konstrukčního návrhu je volba vhodné varianty. Volba varianty v rámci konstrukčního návrhu je klíčovým krokem, který ovlivňuje funkčnost, spolehlivost, náklady a další aspekty finálního produktu.

6.1.1 Varianta 1

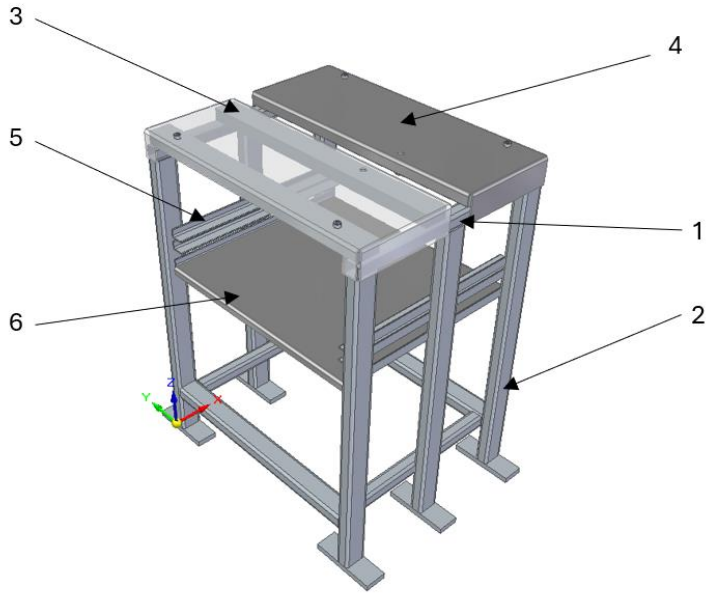
Tato varianta je navržena z ocelových čtvercových (1) a obdélníkových (2) uzavřených profilů. Stůl je na horní části spojen plochými ocelovými tyčemi (3), na kterých jsou umístěny stolové desky (4). Celá konstrukce bude sloužit jako stůl pro ustavení ručního lisu. V horní části mezi nohami stolu jsou přidané dva duté obdélníkové profily (5), aby nedocházelo k nadměrnému průhybu. Na vnitřní straně stolu jsou přivařeny ližiny tvaru L (6) pro umístění poličky (7).



Obrázek 15 První varianta

6.1.2 Varianta 2

Druhá varianta je tvořena z ocelových čtvercových (1) a obdélníkových (2) uzavřených profilů. Stůl je na horní části spojen plochými obdélníkovými tyčemi (3), na nichž jsou umístěny desky stolu (4). Celá konstrukce bude sloužit jako stůl pro ustavení ručního lisu. Nohy jsou tvořeny ze šesti dutých obdélníkových profilů, které jsou v horní části spojeny s profilem ve tvaru čtverce. Vnitřní strana stolu je stejně jako první varianta vybavena přivařenými profily L (5) pro umístění poličky (6).



Obrázek 16 Druhá varianta

6.1.3 Výsledná varianta

Druhá varianta stolu vyniká větší tuhostí a stabilitou díky efektivnějšímu rozložení síly lisu a snižuje riziko průhybu stolu. Z tohoto důvodu ji volím jako lepší variantu.

6.2 Volba polotovarů

Svařovaný stůl je navržen z čtvercových profilů 30x30 mm tloušťky 3 mm a obdélníkových profilů 50x30 mm tloušťky 3 mm. Polotovary pro ližiny byly zvoleny profily tvaru L velikosti 30x20x3 mm. Prvky na patky byly zvoleny ploché tyče s délkou hran 50x15 mm. Pro upevnění ručního lisu a stolových desek byly použity ploché tyče s délkou hran 50x30 mm. Polotovarem pro poličku a stolové desky byl vybrán nerezový ocelový plech o tloušťce 3 mm z materiálu X5CrNi18-10 (17 240). Všechny materiály, které se budou svařovat jsou vybírány z ocelí vhodných pro svařování.

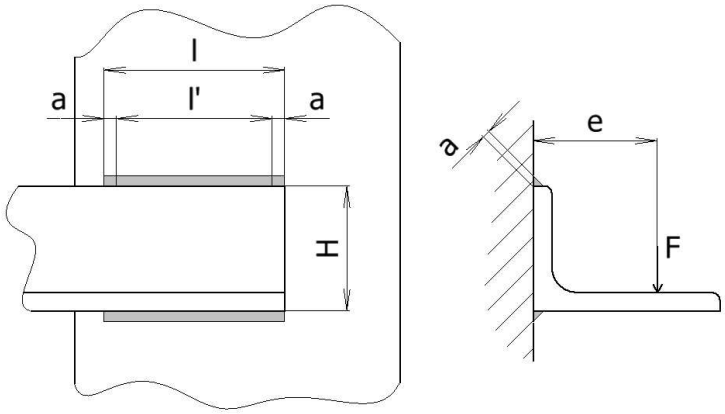
6.3 Výpočty

Výpočty byly provedeny za účelem návrhu a kontroly svařovaných spojů, zjištění napětí v ohybu a hodnotu průhybu.

6.3.1 Připojení ližin k rámu stolu

Profil tvaru L je spojen za pomoci koutového svaru k obdélníkovému profilu (Obr. 17). Obě součásti jsou z materiálu S235JR (11 375). Zatěžující sílu (*F*) jsem volil 100 N z důvodu, že používané baňky s vodou nemají větší objem než 2000 ml.

Napětí dovolené v tahu (σ_{Dt}) je 111 MPa, velikost svaru (a) je 3 mm, délka svaru (*l*) je 20 mm, rameno síly (*e*) je 20 mm, výška (*H*) je 20 mm, r_y je vzdálenost svaru k těžišti ve směru osy y a definován jako H/2. Nosná délka svaru (*l'*)



Obrázek 17 Schéma připojení ližin k rámu stolu

$$l' = l - 2a = 20 - 6 = 14\ mm \tag{16}$$

$$I = a * \frac{l' * H^2}{2} = 3 * \frac{14 * 20^2}{2} = 8\,400\ mm^4 \tag{17}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F}{A_w} = \frac{F}{2 * a * l'} = \frac{100}{2 * 3 * 14} = \mathbf{1,19\ MPa} \tag{18}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{M * r_y}{I} = \frac{F * e * r_y}{I} = \frac{100 * 20 * 10}{8\,400} = \mathbf{2,38\ MPa} \tag{19}$$

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_{\perp}{}^2 + 3 * (\tau_{\perp}{}^2 + \tau_{\parallel}{}^2)} = \sqrt{2{,}38^2 + 3 * (0 + 1{,}19^2)} = \mathbf{3,15\ MPa} \tag{20}$$

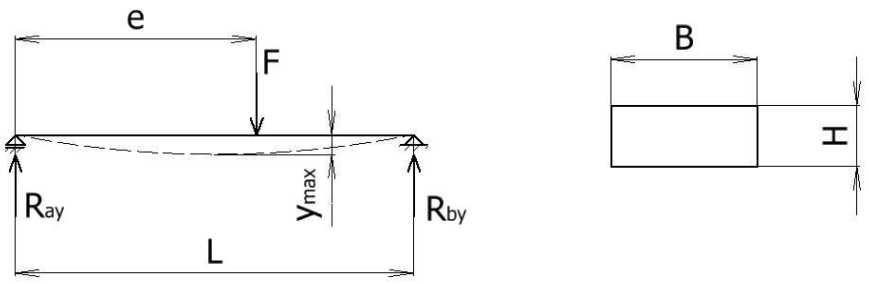
$$\sigma_{Dsv} = 0{,}65 * \sigma_{Dt} = 0{,}65 * 111 = \mathbf{72\ MPa} \tag{21}$$

$\sigma_s = 3{,}15 < 72$ => svar vyhovuje

6.3.2 Plochá tyč

Zatížení, které bude vytvářeno procesem lisování je 12 555 N. To se bude přenášet na dvě ploché tyče. Proto je potřeba zjistit, jestli se tyto tyče nebudou nadměrně prohýbat. Materiál tyče je ocel S355J2 (11 503).

Zatížení (*F*), se kterých budu počítat je 6 277 N, napětí dovolené v tahu (σ_{Dt}) je 150 MPa, výška tyče (*H*) je 28 mm, šířka tyče (*B*) je 50 mm, délka tyče (*L*) je 570 mm a rameno na kterém síla působí (*e*) je 345 mm.



Obrázek 18 Schéma uložení ploché tyče

Z rovnic rovnováhy získám reakce v podporách, které budou použity v dalších výpočtech.

Rovnice rovnováhy:

$$\sum_i^n Fi, x = 0 \tag{22}$$

$$\sum_i^n Fi, y = 0 \;=>\; R_{\mathrm{ay}} + R_{\mathrm{by}} - F = 0 \;=>\; R_{\mathrm{ay}} = F - \; R_{\mathrm{by}} \tag{23}$$

$$\sum_i^n Mi, _{\mathrm{A}} = 0 \;=>\; R_{\mathrm{By}} * L - F * e = 0 \;=>\; R_{\mathrm{By}} = \frac{F*e}{L} \tag{24}$$

Výpočet reakcí v podporách:

$$R_{\mathrm{by}} = \frac{F*e}{L} = \frac{6\,277*345}{570} = 3\,799\ N \tag{25}$$

$$R_{\mathrm{ay}} = F - \; R_{\mathrm{by}} = 6\,277 - 3\,799 = 2478\ N \tag{26}$$

Průhyb nosníku:

$$I = \frac{B*H^3}{12} = \frac{50*28^3}{12} = 91\,467\ mm^4 \tag{27}$$

$$y_{\max} = \frac{F*e^2*(L-e)^2}{3*E*I*L} = \frac{6277*345^2*225^2}{3*210\,000*91\,467*570} \tag{28}$$

$$y_{\max} = \mathbf{1,48\ mm}$$

Kontrola na ohyb:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{Do} \tag{29}$$

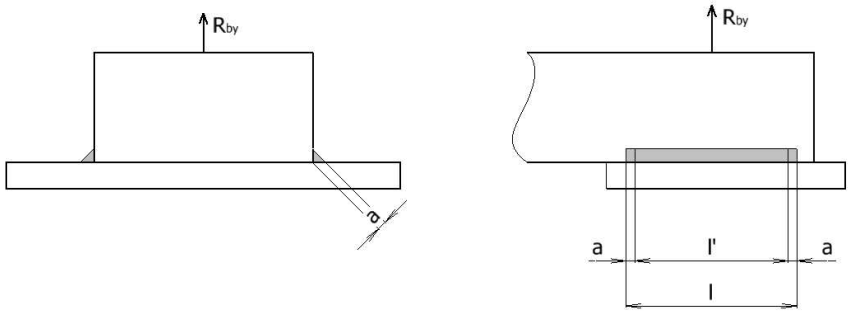
$$\sigma_o = \frac{R_{Ay} * e}{\frac{B * H^2}{6}} = \frac{2478 * 345}{\frac{50 * 28^2}{6}} \leq 150\ MPa$$

$$\sigma_o = 130{,}8 \leq 150\ MPa \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Výpočet únosnosti svaru ploché tyče:

Čtvercový profil je pomocí koutového svaru spojena s plochou tyčí, na které budou umístěny stolové desky a ruční lis. Tyč je z materiálu S355J2 (11 503), kde napětí dovolené v tahu (σ_{Dt}) je 150 MPa a u čtvercového profilu je materiál S235JRH (11 375), kde napětí dovolené v tahu (σ_{Dt}) je 111 MPa.

Jako sílu použiju vypočítanou reakci v podpoře B (R_{by}), napětí dovolené v tahu (σ_{Dt}) beru ze slabšího materiálu, velikost svaru (a) je 3 mm a délka svaru (l) je 20 mm.



Obrázek 19 Spojení ploché tyče ke čtvercovému profilu

$$l' = l - 2a = 20 - 6 = 14\ mm \tag{30}$$

$$\sigma_\perp = \frac{R_{by}}{A_w} = \frac{R_{by}}{2*a*l'} = \frac{3\,799}{2*3*14} = 45{,}2\ MPa \tag{31}$$

$$\sigma_{Dsv} = 0{,}75 * \sigma_{Dt} = 0{,}75 * 111 = 83\ \mathbf{MPa} \tag{32}$$

$\sigma_\perp = 45{,}2 < 83 \Rightarrow$ svar vyhovuje

7 TECHNICKÁ DOKUMENTACE

Technická dokumentace obsahuje podrobné informace o návrhu, výrobě a použití výrobku. Zahrnuje výkresy, technické specifikace, instrukce a další dokumenty. Je klíčová pro výrobu kvalitních výrobků a zajišťuje soulad s požadavky zákazníka a normami. Obsahuje údaje o materiálech, rozměrech, tolerancích, montáži a provozních postupech. Správně sestavená dokumentace snižuje riziko chyb a zlepšuje efektivitu výroby a údržby výrobků.

7.1 Výkresová dokumentace

Byla vytvořena kompletní výkresová dokumentace stolu podle zásad technického kreslení. Všechny výkresy obsahují informace o velikosti, tolerancích a použitém materiálu pro jejich výrobu. Výkresy svařovaných částí obsahují potřebné informace o provedení svarů pro svářeče, a následně informace pro obráběče po svaření. Všechny výkresy jsou vloženy v příloze.

7.2 Postup výroby

Nejprve se nařežou jednotlivé ocelové profily do požadovaných délek pomocí pásové pily a potom budou jejich konce zafrézovány na požadovanou drsnost. Z nerezového plechu se vyřežou pomocí laseru STOLOVÉ DESKY a PLECH.

STOLOVÉ DESKY a PLECH potom budou ohnuty do požadovaných tvarů dle výkresů a z připravených profilů se následně svaří konstrukce stolu dle výkresu.

Při obráběcí operaci se zarovnají PATKY a DESKY do roviny. Potom se na svařený stůl umístí stolové desky a ruční lis a vyvrtají se díry. Díry se nejprve předvrtají vrtákem ø6 mm a potom se budou vrtat na jejich předepsanou velikost. Jako poslední operací bude nanesení korozivzdorného nátěru na rám stolu. (viz tabulka 1, str 37,38)

Tabulka 1 Postup výroby

Číslo operace	Popis operace	Výrobní pomůcky / práce	Číslo výkresu
1	Řezání obdélníkového profilu 50x30x3 – 6 ks	Pásová pila	BP-01-A4-100
2	Řezání obdélníkového profilu 50x30x3 – 2 ks	Pásová pila	BP-02-A4-100
3	Řezání čtvercového profilu 30x3 – 2 ks	Pásová pila	BP-03-A4-100
4	Řezání čtvercového profilu 30x3 – 2 ks	Pásová pila	BP-04-A4-100

Číslo operace	Popis operace	Výrobní pomůcky / práce	Číslo výkresu
5	Řezání L profilu 30x20x3 – 6 ks	Pásová pila	BP-05-A4-100
6	Řezání ploché tyče 50x30 – 4 ks	Pásová pila	BP-06-A4-100
7	Řezání ploché tyče 50x15 – 6 ks	Pásová pila	BP-07-A4-100
8	Řezání plechu – 2 ks	Laser	BP-200-A3-1000
9	Řezání plechu	Laser	BP-300-A3-1000
10	Měření rozměrů	Kontrola	
11	Zarovnání konců obdélníkového profilu 50x30x3 – 6 ks	Frézka	BP-01-A4-100
12	Zarovnání konců obdélníkového profilu 50x30x3 – 2 ks	Frézka	BP-02-A4-100
13	Zarovnání konců čtvercového profilu 30x3 – 2 ks	Frézka	BP-03-A4-100
14	Zarovnání konců čtvercového profilu 30x3 – 2 ks	Frézka	BP-04-A4-100
15	Zarovnání konců L profilu 30x20x3 – 6 ks	Frézka	BP-05-A4-100
16	Zarovnání konců ploché tyče 50x30 – 4 ks	Frézka	BP-06-A4-100
17	Zarovnání konců ploché tyče 50x15 – 6 ks	Frézka	BP-07-A4-100
18	Měření rozměrů	Kontrola	
19	Ohýbat DESKA STOLU – 2 ks	Ohýbačka plechu	BP-200-A3-1000
20	Ohýbat PLECH	Ohýbačka plechu	BP-300-A3-1000
21	Svařit STŮL	Svařovací agregát, elektroda ESAB E-B 121	BP-100-A3-1000
22	Frézovat přídavek 2 mm	Frézka	BP-100-A3-1000
23	Předvrtat díry ø6 mm do svařeného stou	Vrták ø6 mm	BP-1000-A3
24	Vrtání děr ø9 mm	Vrták ø9 mm	BP-1000-A3
25	Vrtání děr ø13,5 mm	Vrták ø13,5 mm	BP-1000-A3
26	Měření rozměrů	Kontrola	
27	Základní nátěr povrchu rámu stolu – 2 vrstvy	Nátěr S2000, štětec	
28	Vrchní nátěr povrchu rámu stolu – 2 vrstvy	Nátěr S2013, štětec	

8 VYHODNOCENÍ

Při výběru materiálu pro konstrukci je důležité zvážit různé faktory, včetně nákupní ceny, mechanických vlastností, odolnosti proti korozi a životnosti. Z hlediska ekonomického srovnání byly řešeny nákupní ceny hutních materiálů z konstrukční oceli a nerezové oceli. Ceny hutních materiálů z konstrukční oceli jsem z jistil od firmy Ferona a.s. a ceny pro materiály z nerezové oceli od firmy Atreon s.r.o. Všechny uvedené ceny jsou bez DPH.

V další části jsou počítány náklady na výrobu stolu.

Tabulka 2 Porovnání cen konstrukčních a nerezových ocelí

Polotovar	Cena (konstrukční ocel) [Kč / m]	Cena (nerezová ocel) [Kč / m]
Čtvercový profil 30x30x3	76,53	246,18
Obdélníkový profil 50x30x3	107,02	331,63
Profil L 30x20x3	53,58	313,64
Plochá tyč 50x30	352,34	2 192,85
Plochá tyč 50x15	168,68	1 186,13

Hutní polotovary nelze zakoupit v délce kratší než 6 metrů. Vzhledem k tomu, že délka jednotlivých polotovarů potřebných pro výrobu nepřesahuje 6 metrů, bude stačit pořídit pouze jeden kus.

Tabulka 3 Nákupní cena jednoho kusu

Polotovar	Cena (konstrukční ocel) [Kč]	Cena (nerezová ocel) [Kč]
Čtvercový profil 30x30x3	460	1 477
Obdélníkový profil 50x30x3	642	1 990
Profil L 30x20x3	321	1 882
Plochá tyč 50x30	2 120	13 157
Plochá tyč 50x16	1 012	7 117
Plech 1x2 m	-	6 328
Celková cena	10 883	31 951

Z tabulky 3 je patrné, že nerezová ocel je výrazně dražší než konstrukční ocel. Cena za jeden kus polotovaru z nerezové oceli je 2 až 6krát vyšší než cena za kus polotovaru z konstrukční oceli. To se odráží i v celkové ceně, která je u nerezové oceli 3 až 4krát vyšší než u konstrukční oceli. Vzhledem k vysoké ceně nerezové oceli jsem se rozhodl pro použití levnější konstrukční oceli. Pro ochranu konstrukce z konstrukční oceli proti korozi bude aplikován vhodný nátěr.

Výrobní náklady:

- Cena dělení materiálu

Dělení materiálu bylo provedeno pomocí pásové pily. Ceny jednotlivých řezů jsem zjistil od společnosti NYPRO.

Tabulka 4 Cena dělení materiálu

Polotovar	Cena jednoho řezu [Kč]	Počet řezů [-]	Celková cena [Kč]
Čtvercový profil	25	5	125
Obdélníkový profil	25	9	225
Profil L	20	7	140
Plochá tyč	20	11	220
			710

- Cena svařování:

Stůl bude svařován ručně pomocí obalené elektrody. Cena jednoho balení elektrod (ESAB E-B 121) pro konstrukční ocel je 1020 kč. Cena jednoho balení elektrod (ESAB OK 63.30) pro svařování nerezové oceli je 666 Kč. Rozdíl v ceně balení elektrod je dán velikostí balení. Balení elektrod ESAB E-B 121 obsahuje 258 kusů, zatím co balení elektrod ESAB OK 63.30 obsahuje pouze 51 kusů.

Průměrná mzda svářeče se pohybuje v rozmezí 170 až 240 kč/hod. Počítat se bude s hodnotou 210 kč/hod. Svářeč využívá jen asi 30% času na svařování, zbytek času je využit na přípravu místa svaru, vizuální kontrolu a další.

Při průměrné dopředné rychlosti svařování 1,5 mm/s a celkové délce svarů 2 040 mm vychází celková doba provedení svarů na 22,6 minut. Z čehož vyplývá že svářeč stráví zhruba 75 minut svařováním celého stolu.

Celková cena svařování konstrukční oceli vychází na 1 282 Kč. U nerezové oceli cena vychází na 948 Kč.

- Cena natírání

Náklady na natírání v tomto případě zahrnují pouze pořizovací cenu barev. Průměrná mzda natěrače se pohybuje kolem 150 kč/hod. Jako základní nátěr se použije základní barva PRAGOPRIMER STANDARD S2000. Nákup této barvy vyjde na 105 Kč. Pro vrchní barvu se využije Industrol S2013 s cenou 127 Kč.

Nákup nátěrů bude stát 232 Kč.

Celkové srovnání:

Tabulka 5 Srovnání celkových nákladů na výrobu

	Stůl z konstrukční oceli	Stůl z nerezové oceli
Náklady na nákup polotovarů [Kč]	10 883	31 951
Náklady na dělení materiálu [Kč]	710	710
Náklady na svařování [Kč]	1 282	948
Náklady na nátěry [Kč]	232	-
Celkové náklady [Kč]	13 107	33 612

Z tabulky 5 je patrné že celková výroba stolu z konstrukční oceli vyjde značně levněji oproti stolu z nerezové oceli. Největší dopad na celkovou cenu má typ použitého materiálu.

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá návrhem svařovaného stolu pro ustavení lisu, který slouží k vytlačování sodíku a draslíku.

V teoretické části jsou popsány technologie, které byly využity při samotné výrobě stolu.

V praktické části jsem se věnoval konstrukčnímu návrhu stolu, popisem a volbou vhodné varianty. Konstrukce svařovaného stolu byla vytvořena v programu Solid Edge 2022. K navržené variantě jsem následně vytvořil kompletní výkresovou dokumentaci včetně postupu výroby. Dále jsem se věnoval nutným výpočtům svarů, které bylo potřeba udělat a tím zajistit že provedené svary mají dostatečnou pevnost. Byl proveden výpočet na průhyb nosníku a jeho kontrola na ohyb.

Na základě provedených výpočtů svarů lze konstatovat, že svary vyhovují daným podmínkám zatížení. Dále byl proveden výpočet průhybu nosníku, který ukázal, že maximální průhyb tyče je 1,48 mm. Tato hodnota je v souladu s povolenými mezními hodnotami průhybu pro daný typ konstrukce a zatížení. To znamená, že tyč se při zatížení nedeformuje nadměrně a konstrukce si zachovává požadovanou tuhost a stabilitu.

V závěru práce bylo provedeno ekonomické zhodnocení, ve kterém je popsána cena nákupu jednotlivých polotovarů. Následně byly počítány výrobní náklady na dělení materiálu, svařování a provedení nátěru. Nakonec bylo provedeno ekonomické srovnání mezi výrobou stolu z konstrukční a nerezové oceli, z čehož vyplývá že je vhodnější vyrobit stůl z konstrukční oceli a aplikovat antikorozní nátěr.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] GREULICH, Owen a Maan JAWAD. *Fabrication of Metallic Pressure Vessels* [online]. John Wiley & Sons, 2022 [cit. 2024-02-11]. ISBN 978-1-119-67486-3. Dostupné z: https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpFMPV0002/fabrication-metallic/fabrication-metallic

[2] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II* [online]. Brno: CERM, 2001 [cit. 2024-02-14]. ISBN 80-214-2032-4. Dostupné z: https://ndk.cz/uuid/uuid:5df01dd0-5d00-11e7-89ee-5ef3fc9ae867

[3] WEMAN, Klas. *Welding Processes Handbook* [online]. 2nd ed. Woodhead Publishing, 2012 [cit. 2024-02-08]. ISBN 978-0-85709-510-7. Dostupné z: https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpWPHE0001/welding-processes-handbook/welding-processes-handbook

[4] *THE ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF WATERJET CUTTING* [online]. 2016 [cit. 2024-02-13]. Dostupné z: https://ballardmachineworks.com/2016/07/02/advantages-disadvantages-waterjet-cutting/

[5] CAMPBELL, F.C. *Metals Fabrication - Understanding the Basics* [online]. ASM International, 2013 [cit. 2024-05-08]. ISBN 978-1-62708-018-7. Dostupné z: https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMFUB000J/metals-fabrication-understanding/metals-fabrication-understanding

[6] BOLJANOVIC, Vukota. *Metal Shaping Processes - Casting and Molding; Particulate Processing; Deformation Processes; and Metal Removal* [online]. Industrial Press, 2010 [cit. 2024-05-17]. ISBN 978-0-8311-3380-1. Dostupné z: https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMSPCMPP1/metal-shaping-processes/metal-shaping-processes

[7] *Technologie plošného tváření - ohýbání* [online]. [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm

[8] GILLIS, Charles A. *Hammer's Blueprint Reading Basics* [online]. 4th ed. Industrial Press, 2018 [cit. 2024-03-14]. ISBN 978-0-8311-3614-7. Dostupné z:

https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHBRBE001/hammers-blueprint-reading/hammers-blueprint-reading

[9] SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Základy konstruování*. 7. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2019. ISBN 9788076230095.

[10] DEJL, Zdeněk. *Konstrukce strojů a zařízení I: spojovací části strojů : návrh, výpočet, konstrukce* [online]. Ostrava: Montanex, 2000 [cit. 2024-02-14]. ISBN 80-7225-018-3. Dostupné z: https://ndk.cz/uuid/uuid:2b7c5fc0-b0d6-11e6-a62a-005056827e51

[11] PHILLIPS, David H. *Welding Engineering - An Introduction* [online]. 2n. John Wiley & Sons, 2023 [cit. 2024-02-16]. ISBN 978-1-119-85872-0. Dostupné z: https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpWEAI0011/welding-engineering-an/welding-engineering-an

[12] *Co je to obalená elektroda?* [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: https://www.svarecky-elektrody.cz/radce-svarece/co-je-obalena-elektroda/

[13] *Pocket Welding Guide - A Guide to Better Welding* [online]. 31st. ed. Hobart Institute of Welding Technology, 2013 [cit. 2024-05-09]. ISBN 978-1-936058-28-0. Dostupné z: https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPWGEW001/pocket-welding-guide/pocket-welding-guide

[14] HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2* [online]. Praha: Scientia, 2001 [cit. 2024-05-09]. ISBN 80-7183-244-8. Dostupné z: https://ndk.cz/uuid/uuid:db6ffa9d-ed42-4b52-936f-04535ea0bcdf

[15] JEFFUS, Larry. *Welding and Metal Fabrication* [online]. 1st. ed. Cengage, 2012 [cit. 2024-03-15]. ISBN 978-1-4180-1374-5. Dostupné z: https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpWMFE0002/welding-metal-fabrication/welding-metal-fabrication

[16] *Označování svarů* [online]. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: https://slideplayer.cz/slide/2801850/

[17] *Svarové spoje* [online]. [cit. 2024-02-15]. Dostupné z: https://www.mitcalc.com/doc/welding/help/cz/welding.htm

[18] KALENDOVÁ, Adnrea. *Technologie nátěrových hmot II* [online]. 2003. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, Ústav polymerních materiálů, 2003 [cit. 2024-03-09]. ISBN 80-7194-555-2. Dostupné z: https://ndk.cz/view/uuid:1c5f1440-be15-11e2-b6da-005056827e52?page=uuid:aa201a20-d604-11e2-b490-5ef3fc9bb22f

[19] *Lakování* [online]. [cit. 2024-05-09]. Dostupné z: https://www.vybersito.cz/rs/lakovani/

[20] Povlakování. In: *Strojařská Bible* [online]. [cit. 2024-03-09]. Dostupné z: https://www.strojarskabible.cz/povlakovani/

[21] Povlakování. In: *HMC engineering system* [online]. c2010-2021 [cit. 2024-05-08]. Dostupné z: https://www.hmc-system.cz/servis/povlakovani/

[22] Povrch a jeho úpravy. In: *Engineering* [online]. [cit. 2024-03-09]. Dostupné z: https://www.engineering.sk/clanky2/povrchove-upravy/31481-povrch-a-jeho-upravy

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a	Tloušťka svaru [mm]
A_{w}	Nosná plocha průřezu svaru [mm^2]
B	Šířka [mm]
c	Koeficient [-]
E	Modul pružnosti v tahu [MPa]
e	Vzdálenost síly [mm]
F	Síla [N]
H	Výška [mm]
I	Moment setrvačnosti [mm^4]
J_{w}	Polární moment průřezu [mm^4]
k	Součinitel určující polohu neutrální osy [-]
l	Délka svaru [mm]
l_{m}	Rameno ohybu [mm]
l'	Nosná délka svaru [mm]
M_{k}	Kroutící moment [Nm]
M_{o}	Ohybový moment [Nm]
R_{Ay}	Reakce v podpoře A [N]
R_{By}	Reakce v podpoře B [N]
R_{e}	Mez kluzu [MPa]
$R_{\mathrm{i(max)}}$	Maximální poloměr ohybu [mm]
$R_{\mathrm{i(min)}}$	Minimální poloměr ohybu [mm]
r_{x}	Vzdálenost svaru k těžišti ve směru osy x [mm]
r_{y}	Vzdálenost svaru k těžišti ve směru osy y [mm]
t	Tloušťka materiálu [mm]
W_{os}	Modul průřezu v ohybu [mm^3]

y_{max}	Maximální průhyb [mm]
β	Úhel odpružení [°]
$\sigma_{\perp}$	Normálové napětí na směr svaru [MPa]
$\tau_{\perp}$	Smykové napětí kolmé na směr svaru [MPa]
$\tau_{\parallel}$	Smykové napětí rovnoběžné se směrem svaru [MPa]
σ_{Dt}	Napětí dovolené v tahu [MPa]
σ_{Dsv}	Napětí dovolené ve svaru [MPa]
σ_s	Ekvivalentní napětí ve svaru [MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Vertikální pásová pila [6] 12
Obrázek 2 Kotoučová pila [6] 13
Obrázek 3 Rámová pila [6] 13
Obrázek 4 Lemování [8] 16
Obrázek 5 Ohraňování [6] 17
Obrázek 6 Zakružování [6] 17
Obrázek 7 Drápkování [6] 17
Obrázek 8 svařování obalenou elektrodou [13] 19
Obrázek 9 Princip svařování metodou TIG [11] 22
Obrázek 10 Značení svarů [16] 24
Obrázek 11 Namáhání tupých svarů [17] 24
Obrázek 12 Nosná délka svaru [17] 25
Obrázek 13 Namáhání koutových svarů [17] 26
Obrázek 14 Povlakované nástroje [21] 29
Obrázek 15 První varianta 32
Obrázek 16 Druhá varianta 33
Obrázek 17 Schéma připojení ližin k rámu stolu 34
Obrázek 18 Schéma uložení ploché tyče 35
Obrázek 19 Spojení ploché tyče ke čtvercovému profilu 36

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Postup výroby 37
Tabulka 2 Porovnání cen konstrukčních a nerezových ocelí 39
Tabulka 3 Nákupní cena jednoho kusu 39
Tabulka 4 Cena dělení materiálu 40
Tabulka 5 Srovnání celkových nákladů na výrobu 41

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výkresová dokumentace