

Konstrukční návrh lokomoční pomůcky

Pavel Petrovaj

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel PETROVAJ**

Osobní číslo: **T07376**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Konstrukční návrh lokomoční pomůcky**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Lokomoční pomůcky určené pro sportovní využití
3. Přehled konstrukčních materiálů a technologií pro výrobu výrobků
4. Návrh a konstrukce výrobku a základní pevnostní výpočet
5. Konstrukční návrh aktivního vozíku – nosný rám – kov
6. Závěr

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle uvážení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Krůmal

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

14. února 2011


Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2011

Ve Zlíně dne 11. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Petrovay Pavel

Obor: Technologická zav.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/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);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/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.

Ve Zlíně 3.6.2011

Petrovay

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací;

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užití či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídáne k vyšší výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem aktivního vozíku pro tělesně postižené. V úvodu jsou shrnuty informace z oblasti kovových materiálů a technologie zpracování kovových materiálů. Na tuto kapitolu navazuje samotné řešení konstrukce vozíku v programu CATIA a částečné ověření výpočtem.

Klíčová slova: Aktivní vozík, Kovové materiály

ABSTRACT

This bachelor thesis describes the design of active wheelchair for the disabled. The introduction summarizes the information from the field of metallic materials and technology for processing metallic materials. After this chapter followed the solution design in program CATIA.

Keywords: Active wheelchair, Metallic materials

Rád bych poděkoval svému vedoucímu Ing. Martinu Křůmalovi za pomoc, kterou mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

„Non schoale sed vitae discimus.“

„Neučíme se pro školu, ale pro život.“

Seneca Lucius Annaeus

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 KOMPENZAČNÍ POMŮCKY	12
1.1 TYPY KOMPENZAČNÍCH POMŮCEK.....	12
1.2 LOKOMOČNÍ POMŮCKY	13
1.2.1 Vozíky pro invalidy.....	13
1.2.2 Chodítka, hole, berle	14
1.2.3 Protézy.....	15
2 KOVOVÉ MATERIÁLY	16
2.1 ROZDĚLENÍ KOVOVÝCH MATERIÁLŮ	16
2.2 STRUKTURA KOVOVÝCH MATERIÁLŮ	17
2.3 VAZBY MEZI ATOMY	18
2.4 KRYSTALOVÁ STRUKTURA KOVŮ	20
2.5 PORUCHY KRYSTALOVÉ STRUKTURY.....	21
2.6 MECHANICKÉ VLASTNOSTI KOVOVÝCH MATERIÁLŮ	25
2.6.1 Deformace kovových materiálů	25
2.6.2 Základní mechanické vlastnosti kovových materiálů	28
3 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ KOVOVÝCH MATERIÁLŮ	32
3.1 SVAŘOVÁNÍ.....	32
3.1.1 Rozdělení metod svařování	32
3.1.2 Tavné svařování	33
3.1.3 Tlakové svařování	42
3.2 PÁJENÍ.....	45
3.3 TVÁŘENÍ	46
3.4 ODLÉVÁNÍ.....	49
3.5 OBRÁBĚNÍ.....	50
3.6 PRÁŠKOVÁ METALURGIE	51
4 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI	53
II PRAKTICKÁ ČÁST	54
5 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	55
6 DESIGNOVÁ STUDIE TRILOBIT	56
7 NÁVRH KONSTRUKCE	58
7.1 3D SESTAVA MODELU.....	58
7.1.1 Prvotní návrh.....	58
7.1.2 Finální návrh	59
7.2 PŘEDBĚŽNÉ PEVNOSTNÍ VÝPOČTY	61
8 MATERIÁL	64
9 SHRUTÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI	65
10 ZÁVĚR	66
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	67
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	68

SEZNAM OBRÁZKŮ	70
SEZNAM TABULEK.....	72
SEZNAM PŘÍLOH.....	73

ÚVOD

V České republice žije víc než půl milionu lidí s tělesným postižením. Tito lidé by měli mít stejné možnosti sportovního vyžití jako lidé bez tělesného postižení. Z tohoto důvodu je potřeba nabídnout jim pomůcky, které budou mít upravenou konstrukci a vlastnosti tak, aby se lidé s tělesným postižením mohli aktivně zapojit do sportovního života.

Existuje celá řada lokomočních pomůcek pro sportování lidí s omezením. Pořizování těchto jednotlivých pomůcek však může být velice nákladné. Také z tohoto důvodu je potřeba navrhnout lokomoční pomůcku, která bude mít multifunkční konstrukci. Tímto problémem se zabývá designová studie Trilobit, ve které se podařilo skloubit několik lokomočních pomůcek do jednoho multifunkčního zařízení.

V této práci jsem se zabýval návrhem aktivního vozíku z kovových materiálů, který bude sloužit pro otestování navrženého designu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPENZAČNÍ POMŮCKY

V případě zdravotního omezení je člověk nucen používat nejrůznější rehabilitační a kompenzační pomůcky. Kompenzační pomůcky vyrovnávají nedostatečně rozvinuté nebo porušené funkce orgánů těla, využívají zachovaných nebo jen částečně narušených funkcí a orgánů. [1]

Tyto pomůcky lze definovat jako, produkt, nástroj, zařízení nebo technický systém užívaný osobou s handicapem. Je vyrobena individuálně nebo je k dostání na běžném trhu. Je určena k vyrovnání funkčních omezení, zvýšení a posílení nezávislosti, pohyblivosti, pomáhá při denních činnostech a komunikaci. Zvyšuje kvalitu člověka s handicapem. [2]

Kompenzační pomůcky umožňují handicapovanému dosáhnout alespoň určitého stupně pohybové samostatnosti. [3]

1.1 Typy kompenzačních pomůcek

Kompenzační pomůcky můžeme rozdělit na několik podskupin. Výrobě kompenzačních pomůcek se věnuje celá řada výrobců a nikdy nelze obsáhnout všechny typy a druhy těchto pomůcek. [1]

Kompenzační pomůcky se mohou dělit:

- pomůcky pro komunikaci,
- pomůcky pro přístup k PC (pro alternativní řešení PC),
- pomůcky pro vzdělávání,
- pomůcky pro soběstačnost,
- ergonomické pomůcky,
- protetické pomůcky,
- pomůcky pro osoby se zrakovým postižením,
- pomůcky pro osoby se sluchovým postižením,
- pomůcky pro osoby se sníženou řečovou schopností,
- pomůcky pro mobilitu a transport (lokomoční pomůcky).

1.2 Lokomoční pomůcky

Lokomoce – lokomoce člověka je schopnost pohybu v prostoru pomocí svalové činnosti. Je zajištěna pomocí lokomočního systému, který je podsystémem pohybového systému, který zajišťuje a řídí aktivní přemístění živého organismu v daném prostoru a čase. [4]

Lokomoční pomůcky můžeme rozdělit na pomůcky opěrné, které umožňují chůzi při odlehčení dolních končetin (podmínkou je dostatečná nosná či opěrná funkce horních končetin) a na pomůcky substituční a kompenzační, které nahrazují ztracenou lokomoční funkci dolních končetin nebo kompenzují jejich funkční deficit. Mezi opěrné pomůcky řadíme např. madla, zábradlí, chodítka, opěrky a hole (berle). Substituční a kompenzační pomůcky zahrnují ortézy, dlahy, ortopedickou obuv, ortopedické vložky do bot, protézy chybějících končetin a jejich částí, mechanické i elektrické vozíky. [5]

1.2.1 Vozíky pro invalidy

Nejčastěji využívanými pomůckami pro tělesně postižené jsou vozíky pro invalidy. Vozíky mohou být mechanické nebo elektrické, dále do této kategorie spadají kočárky a skútry. Mechanické vozíky se mohou dělit:

- standardní,
- dětské,
- sportovní (upravené na různé druhy sportů),
- speciální (např. do sprchy, toaletní vozíky, atd.).

Elektrické vozíky se nejčastěji rozdělují:

- interiérové,
- exteriérové,
- přídatné.

Jejich použití závisí na typu postižení. Mechanický vozík je používán osobami, které mají postižené dolní končetiny a v tomto případě se na vozíku mohou pohybovat sami pomocí horních končetin. A dále je používán osobami s postižením dolních a obou horních končetin, kde je nutná asistence druhé osoby. Elektrický vozík mohou využívat osoby s postižením dolních i částečně horních končetin, kdy jsou schopny si elektrický vozík ovládat alespoň jednou horní končetinou sami. [1]

Pro uživatele vozíků pro invalidy je největším problémem zdolávání terénních nerovností a klasických schodišť. K překonávání těchto překážek slouží plošiny, schodolezy, sedačkové výtahy, nájezdové rampy. [1]

Schodolez je pásový nebo kolový dopravní prostředek nápadně připomínající miniaturu kombinace pásáku a rudlu, na nějž je vozík pro invalidy naložen a připevněn, načež popojíždí po schodech či volné ploše nezávisle na dalších stavebních prvcích, zejména obsluhovaný další osobou, výjimečně samotným vozíčkářem. [1]



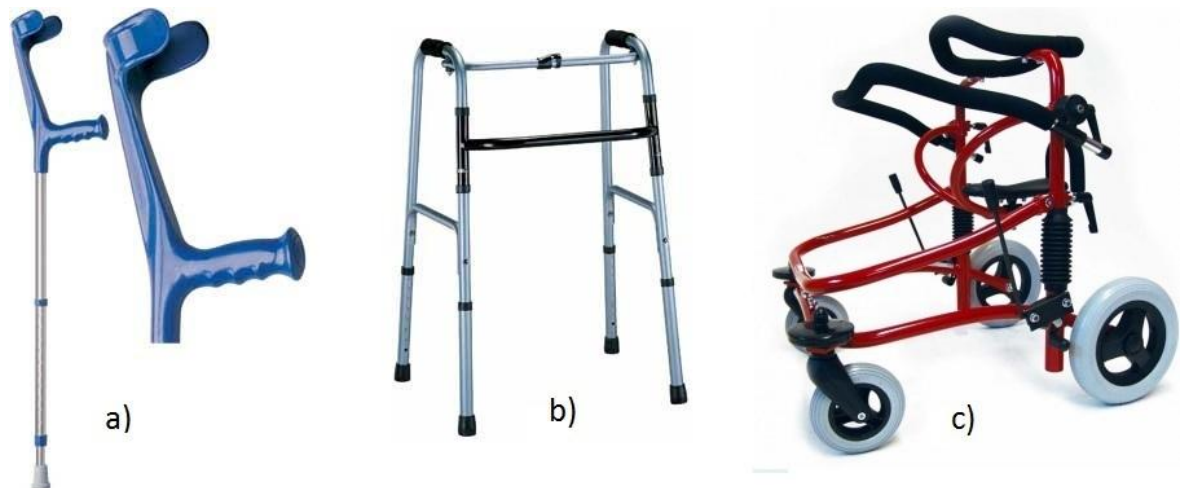
Obr. 1 a) aktivní vozík b) sportovní vozík c) toaletní vozík

1.2.2 Chodítka, hole, berle

Chodítka mohou být: čtyřbodová, dvoukolová, tříkolová nebo čtyřkolová, podpaž-ní, předloketní.

Berle jsou nejčastěji francouzské, podpažní, předloketní, vycházkové, dále mohou být skládací a novým typem jsou berle magnetické (tyto berle jsou vybaveny magnety, berle lze spojit, opřít například o zárubeň dveří, automobil, ledničky atd. aniž by padaly).

Chodítka, hole, berle se využívají při tělesném postižení dolních končetin a při narušení motoriky. [1]



Obr. 2 a) berle předloketní b) chodítko pevné c) chodítko pojízdné

1.2.3 Protézy

Protéza je definována jako náhrada chybějící končetiny nebo jakékoliv jiné části těla. U tělesně postižených se jedná o protézy horních a dolních končetin. Protézy horních končetin se dělí na protézy pažní, protézy předloketní, protézy prstů a ruky. Dále zde můžeme zařadit protézy myoelektrické, které zajišťují funkci úchopu a protézy kosmetické. Protézy dolních končetin se dělí na protézy po amputaci v kyčelním kloubu, protézy stehenní, protézy po amputaci v kolenním kloubu, protézy bérce a protézy chodidel (protetický sandál). [1]

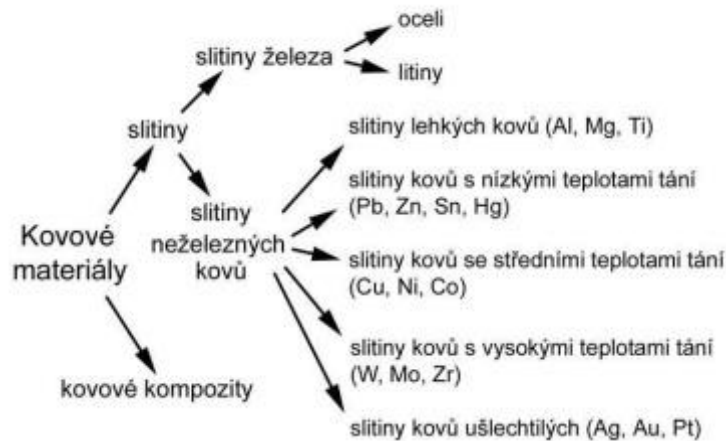
2 KOVOVÉ MATERIÁLY

Pod pojmem materiály rozumíme pevné látky, které člověk využívá ke své činnosti. U kovových materiálů je hlavní složkou kovový prvek (Fe, Cu, Al, Au, atd.) Vzhledem k tomu, že není možné vyrobit absolutně čistý kov, vždy se jedná o slitiny více kovů, popřípadě kovů s nekovy. Výraz slitina znamená, že materiál vznikl společným roztavením a následným stuhnutím (slitím) více složek. Příměsi jsou buď považovány za nečistoty nebo jsou záměrně přidávány za účelem zlepšení zejména mechanických vlastností. Záměrné přidávání přísadových prvků se nazývá legování. Chemické složení slitin se často vyjadřuje čísly u symbolů legujících prvků, které znamenají jejich obsah ve slitině v hmotnostních procentech. Např. slitina CuZn40Pb2 obsahuje 40 hm.% Zn a 2 hm.% Pb, zbytek je měď.

Kovové materiály jsou důležité a univerzální technické materiály. Prakticky všechna odvětví lidské činnosti od těch běžných, jako je stavebnictví, až po ty extrémně náročné, jako je kosmický průmysl, jsou zcela závislé na existenci kovových materiálů. Univerzálnost těchto materiálů je dána velkou rozmanitostí vlastností, kterých mohou nabývat. V technické praxi jsou například využívány kovové materiály s velmi nízkými teplotami tání (tepelné pojistky), nižšími než 100°C, ale také vysokotavitelné materiály s teplotami tání nad 2000°C (topná tělesa, vlákna žárovek). Rovněž existují materiály měkké a tvárné (olovo) a naproti tomu materiály extrémně pevné (titan). Žádná jiná skupina materiálů nemění své vlastnosti v tak širokých mezích. [6]

2.1 Rozdělení kovových materiálů

Rozdělení kovových materiálů lze učinit na základě několika hledisek. Lze použít např. dělení podle postavení v periodické soustavě prvků (kovy alkalické, kovy alkalických zemin, kovy přechodné atd.) Toto dělení však nerespektuje skutečnost, že nejvíce technicky významných kovů spadá právě do jedné skupiny přechodných. Proto je častější dělení znázorněné schematicky na obr.3. Toto rozdělení odráží nejvýznamnější postavení slitin železa. U slitin neželezných kovů jsou respektovány významné vlastnosti, které často (avšak ne vždy) předurčují hlavní oblasti jejich použití. Poněkud stranou leží kovové kompozity, které jsou rovněž řazeny mezi kovové materiály. Narozdíl od slitin, které vznikají společným roztavením a ztuhnutím složek, vznikají kompozity spíše jejich mechanickým smísením. [6]



Obr. 3 Rozdělení kovových materiálů

2.2 Struktura kovových materiálů

Pod pojmem struktura rozumíme uspořádání určitých stavebních jednotek v prostoru. Je důležité si vždy uvědomit, v jakém měřítku nás struktura materiálu zajímá. Pokud nás zajímá na úrovni elektronů, hovoříme o elektronové struktuře. Specifické uspořádání valenčních elektronů je příčinou chemických vazeb v kovech. Na další úrovni jsou stavebními jednotkami kovu atomy. U většiny kovů a jejich slitin jsou atomy uspořádány v prostoru pravidelně a toto uspořádání se nazývá krystalová struktura. V ještě hrubším měřítku jsou stavebními jednotkami kovového materiálu fáze, což jsou útvary, které jsou složeny z mnoha atomů. Fáze se vzájemně liší svou krystalovou strukturou, často i chemickým složením a fyzikálními vlastnostmi. Na jejich rozhraní se tyto vlastnosti mění skokem. Fázemi mohou být např. v ocelích α -železo (ferit) a karbid triželeza Fe_3C nebo v litinách α -železo, karbid triželeza a grafit atd. Pokud u daného materiálu sledujeme fázové složení (druhy přítomných fází), velikost fází, jejich tvar a rozložení, hovoříme o mikrostruktuře materiálu. V obecnějším smyslu pojem mikrostruktura zahrnuje všechny složky materiálu, které lze pozorovat mikroskopem (světelným nebo elektronovým), tzn., že sem patří krom fází rovněž poruchy struktury (mikrotrhliny, póry, vměstky atd.). [6]

Studium struktury kovových materiálů je velmi důležité. Pokud známe vztahy mezi strukturou a vlastnostmi, jsme schopni cíleně připravovat materiály požadovaných parametrů.[6]

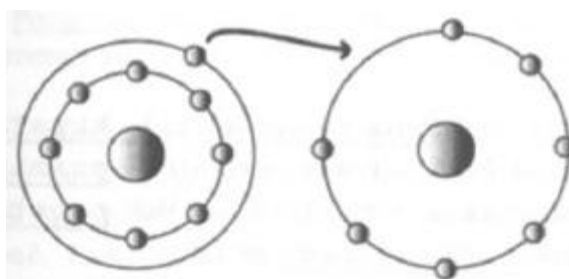
2.3 Vazby mezi atomy

Strukturou se rozumí určité uspořádání atomů nebo molekul. Ty jsou k sobě vázány přitažlivými a odpuzivými silami, které se nazývají vazební síly. Tyto síly jsou elektrostatického původu a jsou ovlivněny uspořádáním elektronů v atomovém obalu. Magnetické síly mají na soudržnost (kohezi) jen malý vliv a síly gravitační jsou zcela zanedbatelné.

V pevných látkách jsou mezimolekulární síly tak velké, že to molekuly zafixuje v určitých středních polohách, kolem nichž vykonávají molekuly (nebo jejich části) periodické vibrační, resp. rotační pohyby s periodou asi 10^{13} sekundy (při pokojové teplotě). Vzdálenosti mezi atomy lze za dané teploty považovat přibližně za konstantní. [7]

Základní vazby mezi atomy jsou tři:

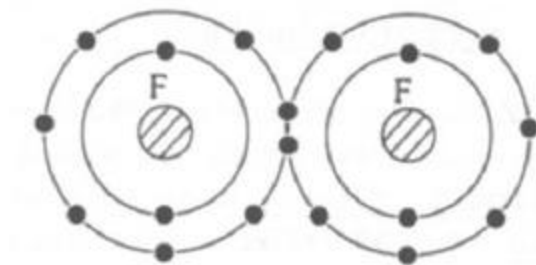
Iontová (heteropolární) vazba je nejjednodušší vazba, která spočívá v elektrické přitažlivosti mezi elektro pozitivními a elektronegativními ionty. Iontová vazba je založena na předání jednoho nebo více elektronů jednoho atomu druhému, čímž vznikne v obou atomech stabilní skupina 8 valenčních elektronů. Tím se ale z těchto původně elektricky neutrálních atomů stanou ionty (aniont a kationt). Tyto dva opačně nabitě ionty na sebe vzájemně působí přitažlivými elektrostatickými silami podle Coulombova zákona. Z tohoto důvodu se mluví o Coulombově interakci. [7]



Obr. 4 Iontová vazba NaCl

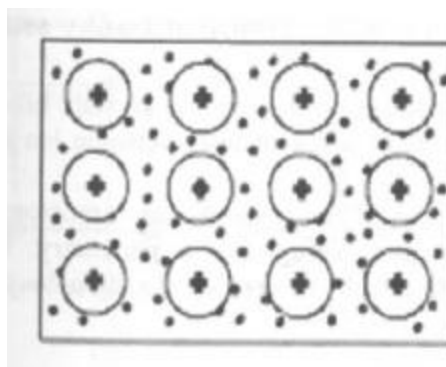
Kovalentní vazba (homeopolární, nebo také chemická) je na rozdíl od iontové vazby charakterizována společnou dvojicí valenčních elektronů elektricky neutrálních atomů, z nich každý se podílí na dané dvojici jedním elektronem. Tyto elektrony jsou vzájemně sdíleny tak, že je obtížné usuzovat, kterému atomu v určitém čase elektron náleží. Elektronový pár

již nepatří určitému atomu, ale stává se společným pro oba atomy. Tato vazba je velmi silná a je směrově orientovaná. Uplatňuj se např. u diamantu. [7]



Obr. 5 Kovalentní vazba F

Kovová vazba je nejdůležitější vazba u kovů a spočívá v předání svých valenčních elektronů ke společnému sdílení všem atomům. Tyto elektrony představují jakési moře záporného náboje, v němž se pohybují kladné ionty (kationty). Jakmile se atomy kovů k sobě přiblíží a vytvoří svoji strukturu, valenční elektrony se jako plyn volně pohybují mezi ionty, kterými jsou kationty, čímž vyvolávají vazebné síly. Tento volný pohyb valenčních elektronů se označuje jako valenční mrak a způsobuje dobrou elektrickou a tepelnou vodivost materiálů. Projevuje se především u prvků, které mají nízký počet elektronů ve vnější sféře, což jsou právě kovy. [7]



Obr. 6 Kovová vazba

Ostatní vazby jsou pro kovy a jejich slitiny nepodstatné. Jsou to:

Vazba van der Waalsova je běžná u prvků nebo chemických sloučenin s velmi stabilní valenční skupinou, což jsou např. inertní plyny. Jejich molekuly jsou v plynném stavu jednoatomové a neslučují se s jinými atomy. Mají mimořádně nízký bod varu a tím mají ze všech prvků nejmenší meziatomovou soudržnost. Tato slabá vazba umožňuje vytvoření

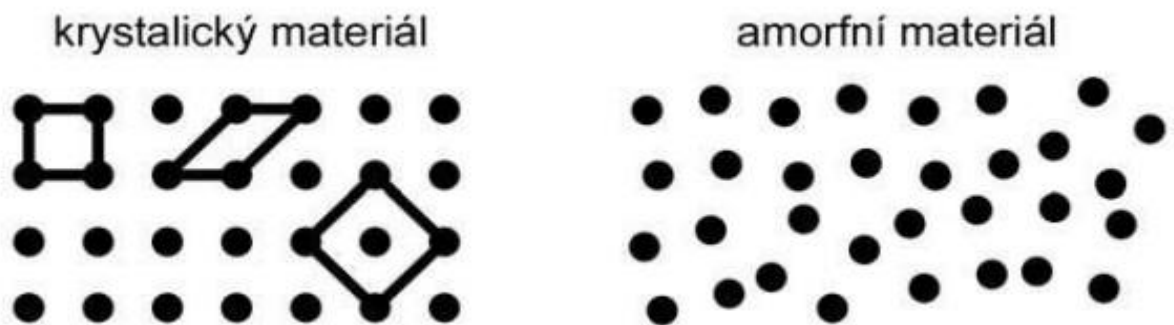
krystalického stavu až při velmi nízkých teplotách. Vazby van de Waalsovy nabývají svého významu u makromolekulárních látek. [7]

Vodíková vazba (vodíkový můstek) vzniká v důsledku vazby H na silně elektronegativním prvku (F, N, O), čímž se na H přenáší kladný elektrický náboj protonu. [7]

Uvedené typy vazeb představují ideální mezní případy. V reálných látkách se uplatňuje více druhů vazeb. Určit všechny ryto vazby a jejich podíl v daném materiálu je značně obtížné. [7]

2.4 Krystalová struktura kovů

Naprostá většina technických kovových materiálů patří mezi materiály krystalické (přesněji mezi materiály v krystalickém stavu). To znamená, že v jejich uspořádání atomů se určité část (elementární buňka) pravidelně opakuje, viz obr. 7. Pravidelné opakování elementární buňky je základním rozdílem mezi materiály ve stavu krystalickém a amorfním. Některé slitiny lze připravit rovněž v amorfním stavu (tzv. kovová skla), avšak pouze za extrémních podmínek, např. velmi rychlým ochlazením (10^6 K/s) z kapalného stavu. [6]

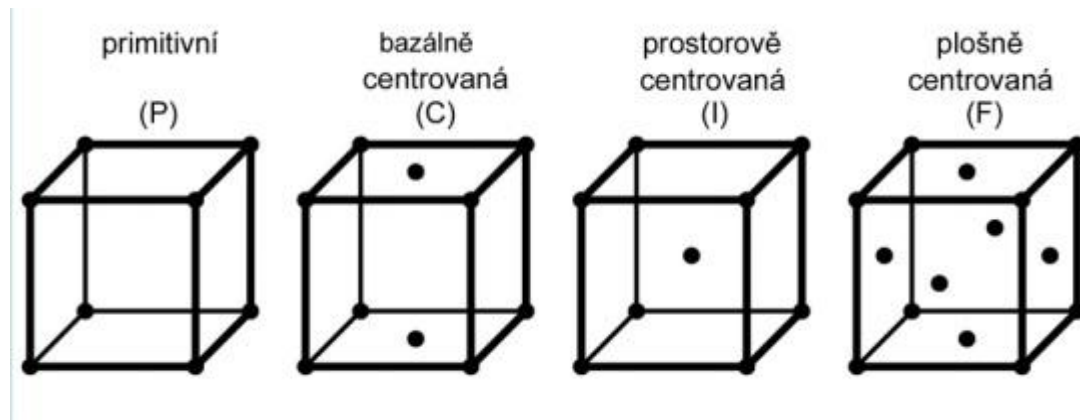


Obr. 7 Struktura krystalického a amorfního materiálu na atomární úrovni (pro jednoduchost ukázáno v rovině) s vyznačením různých možností volby elementární buňky

Uspořádání atom v krystalové struktuře kovů popisujeme pomocí krystalové mřížky, která je množinou bodů, z nichž každý reprezentuje jeden atom. V krystalové mřížce definujeme již zmíněnou elementární buňku. Jak již bylo uvedeno, jedná se o elementární rovnoběžnostěn, který se v prostorové mřížce pravidelně opakuje. Z obr. 7 je zřejmé, že takovou elementární buňku lze zvolit více způsoby, proto byla definována určitá pravidla pro její volbu: Elementární buňku volíme tak, aby měla pokud možno minimální objem, maximální počet pravých úhlů a aby obsahovala minimální počet mřížkových bodů. [6]

Podle počtu mřížkových bodů rozlišujeme elementární buňky primitivní (označují se P),

bazálně centrované (označují se C), prostorově centrované (I) a plošně centrované (F), viz obr.8.



Obr. 8 Druhy elementárních buněk

2.5 Poruchy krystalové struktury

Reálná krystalová struktura včetně monokrystalů má odchylky od přísné periodicity uspořádání atomů v krystalové struktuře. Během tuhnutí a dalšího chladnutí materiálu, a také v průběhu jeho dalšího technologického zpracování, vzniká řada nedokonalostí, které se nazývají mřížkové vady neboli poruchy krystalové struktury. Ve svém důsledku všechny tyto nedokonalosti mají vliv na mechanické a fyzikální vlastnosti materiálu. [7]

Každá porucha vyvolává ve svém okolí místní deformaci, která způsobuje zvýšení vnitřní energie o energii potřebnou na porušení pravidelnosti struktury. Tím se zvyšuje celková energie krystalu. Zároveň přítomnosti poruchy roste i neuspořádanost struktury. Některé vlastnosti krystalických látek, jako jsou měrná hmotnost, teplotní součinitel délkové roztažnosti, teplota tavení (tání), moduly pružnosti E a G, nejsou přítomnosti mřížkových poruch ovlivněny (tyto vlastnosti se nazývají strukturně necitlivé). Jiné, např. elektrická a tepelná vodivost, mechanické vlastnosti, jsou závislé jak na množství, tak i druhu poruch (tyto vlastnosti se nazývají strukturně citlivé). [7]

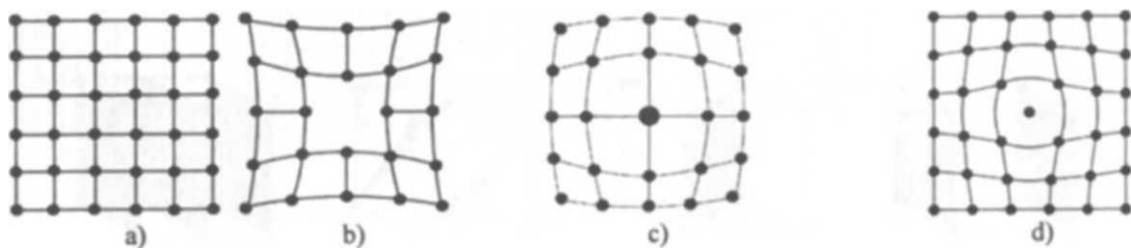
Vady struktury se podle svého geometrického tvaru dělí na bodové, čárové, plošné a prostorové.

Bodové poruchy

Prázdné (neobsazené) uzlové body mřížky, tzv. **vakance** - obr. 9b a **intersticie**, kdy atom základního kovu se dostane do mezimřížkové (intersticiální) polohy - obr. 9d.

Vakance a intersticiální atomy nezůstávají trvale na svém místě, ale postupují krystalovou buňkou. K jejich pohybu je potřeba určité aktivační energie. Vakance, které při svém pohybu dosáhnou hranice zrna, zanikají. Velké shluky vakancí mohou tvořit první mikroskopickou trhlinu, jejíž rozvoj a šíření pokračuje při namáhání součásti. [7]

Chemické poruchy, kdy cizí atom buď nahrazuje atom v elementární buňce - tzv. substituční atom – obr. 9c, nebo se umístí v mezimřížkové poloze elementární buňky, tzv. intersticiální atom - obr. 9d. [7]



Obr. 9 poruchy krystalové mřížky

Hlavními zdroji bodových poruch jsou ozařování kovu částicemi o vysokých energiích, např. neutrony, ohřev materiálu na vysokou teplotu (cca 100 °C pod teplotou tání) spojené s prudkým ochlazením nebo trvalá deformace, která ovlivňuje především vznik vakancí. [7]

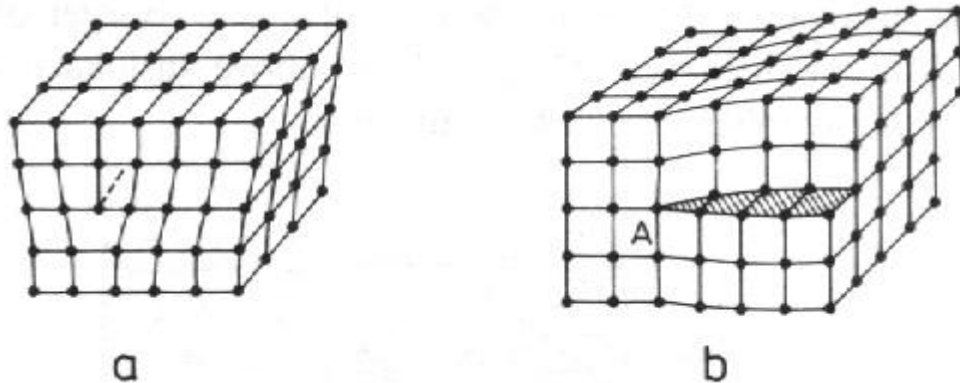
Čárové poruchy

Tyto poruchy se v krystalu rozkládají podél myšlené čáry. Nejdůležitějšími čárovými poruchami jsou **dislokace**. Dislokace jsou v materiálech přítomny vždy a vznikají již během tuhnutí kovu. Dislokace se rozkládají podél myšlené čáry, kterou nazýváme dislokační čára. Rozlišujeme dva základní typy dislokací: hranovou a šroubovou. Hranovou dislokaci si můžeme představit jako okraj polovrstvy atomů vložené do krystalu. Šroubovou dislokaci si zjednodušeně představujeme tak, že krystal ve tvaru válce nařizneme rovnoběžně s osou až k jeho středu. Obě části poté vzájemně posuneme o jednu meziatomovou vzdále-

nost. V reálných krystalech bývají dislokace zřídka pouze čistě hranové nebo čistě šroubové povahy, obvykle bývají smíšeného typu, tzn., že v sobě zahrnují oba druhy dislokací.

Hustota dislokací [m^{-2}] je udávána jako celková délka dislokačních čar v jednotkovém objemu. Hustota dislokací velmi silně závisí na stavu materiálu a rovněž velmi silně ovlivňuje jeho vlastnosti.[6]

Pohyb dislokací je významný, neboť je spojen s plastickou (trvalou) deformací kovů. [6]



Obr. 10 a) Hranová dislokace, b) šroubová

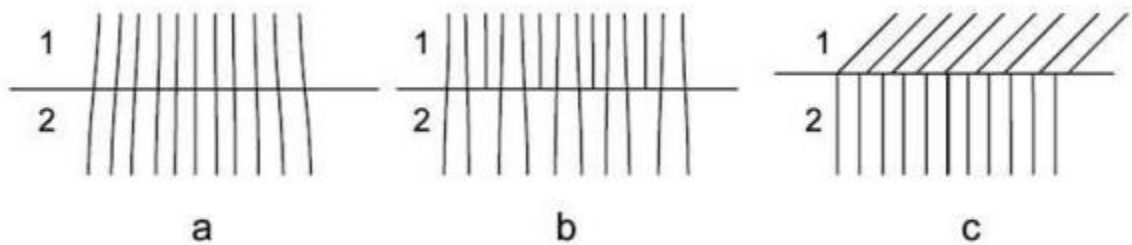
Plošné poruchy

Mezi plošné poruchy krystalové struktury řadíme hranice zrn, mezifázové hranice a povrch krystalu. [6]

Hranice zrn existují v důsledku polykrystalické povahy většiny kovových materiálů. Jestliže kov tuhne, zárodky krystalické fáze vznikají na více místech a krystaly rostou až do okamžiku, kdy se vzájemně spojí. Struktura výsledného ztuhlého kovu je tvořena zrny s různou orientací krystalové mřížky. Hranice zrn rozdělujeme podle velikosti disorientace krystalových mřížek dvou sousedních oblastí na malouhlové a velkouhlové. Malouhlové hranici odpovídá disorientace menší než zhruba 15° . U velkouhlové hranice zrn je disorientace větší než 15° . Tato hranice je obecně místem se zvýšenou koncentrací bodových i čárových poruch. Proto je pro hranice zrn charakteristická zvýšená rychlost difúze. Dále je zde snížena chemická odolnost materiálu. Různé rychlosti rozpouštění v oblasti hranic zrn a uvnitř zrn se využívá ke zvýraznění hranic zrn leptáním při pozorování mikrostruktury kovů. [6]

Mezifázové hranice (obr. 11.) existují u polyfázových materiálů. Podle podobnosti a vzájemné návaznosti krystalových struktur dvou sousedních fází dělíme jejich hranice na ko-

herentní, semikoherentní a nekoherentní. Koherentní mezifázové rozhraní vzniká tehdy, jsou-li parametry krystalových struktur sousedních fází velmi podobné. V takovém případě na sebe obě krystalové struktury vzájemně navazují a v okolí hranice dochází k jejich elastické deformaci. Semikoherentní mezifázové rozhraní vzniká při větších rozdílech parametrů krystalových struktur sousedních fází. V takovém případě je návaznost obou struktur pouze částečná a rozdíly mezi oběma fázemi musí být kompenzovány přítomností hranových dislokací na rozhraní. Nekoherentní mezifázové rozhraní vzniká při velkých rozdílech parametrů sousedních krystalových struktur. Struktury na sebe nenavazují a v okolí hranice nevzniká elastická deformace. [6]



Obr. 11 Schéma koherentního (a), semikoherentního (b) a nekoherentního (c) rozhraní mezi dvěma fázemi. 1

Povrch krystalu je posledním typem plošné poruchy, který zde zmíníme. Jedná se o plochu tvořenou atomy slaběji vázanými ve struktuře krystalu, než odpovídá jeho vnitřku. Z tohoto důvodu probíhá na povrchu proces difúze rychleji než v objemu krystalu. Povrch krystalu bývá také velmi často znečištěn adsorbovanými a chemisorbovanými molekulami plynů. Při mechanickém působení na povrch materiálu vzniká tenká (desítky nm) silně plasticky zdeformovaná tzv. Beilbyho vrstva, jejíž vlastnosti jsou velmi odlišné od zbytku krystalu. Vlastnosti povrchu materiálu jsou rozhodující pro průběh takových procesů, jako jsou koroze, únava materiálu, opotřebení atd. [6]

Prostorové (objemové) poruchy

Mezi prostorové poruchy řadíme zejména **dutiny** a **mikrotrhliny** často vzniklé již při výrobě materiálu. Dutiny vznikají např. v důsledku rozdílu mezi měrným objemem roztavené a ztuhlé slitiny. Při tuhnutí se objem slitiny zmenšuje a tento rozdíl vede ke vzniku tzv. staženin (ředin). Jinou příčinou vzniku dutin mohou být rozpuštěné plyny v tavenině (např. vodík, jehož zdrojem je vlhkost vsázky, nářadí atd.). Při tuhnutí se díky nižší rozpustnosti plynů v tuhé fázi tyto plyny vylučují do struktury odlitků jako bubliny. Trhliny mohou být důsledkem např. vnitřních pnutí v materiálu, která vznikají při nestejném ochlazení (např. při svařování, chlazení tvarově složitých odlitků atd.). Do objemových poruch zahrnujeme rovněž cizorodé částice - vměstky, které vznikají znečištěním materiálu při nesprávně provedené výrobní technologii. Velikost objemových poruch může být několik nm, ale také několik cm. [6]

2.6 Mechanické vlastnosti kovových materiálů

2.6.1 Deformace kovových materiálů

Pokud na materiál působíme mechanickou silou, dojde k jeho deformaci, tzn. změně tvaru. Deformace závisí na velikosti i na druhu namáhání. V praxi existuje mnoho druhů namáhání a deformace, např. v tahu, tlaku, ohybu, krutu, smyku. Často se různé druhy namáhání vzájemně kombinují. [6]

Pro vysvětlení deformačního chování kovů se využívá nejčastěji tzv. tahového diagramu. Tento diagram získáme tak, že zkušební vzorek materiálu např. ve tvaru tyčky upevníme do čelistí zkušebního trhačího stroje a natahujeme ho stále se zvyšující silou. Při tom zaznamenáváme závislost smluvního napětí v tahu σ působícího na materiál na relativní deformaci materiálu ϵ . Obě veličiny jsou definovány následujícími vztahy:

$$\epsilon = \frac{L-L_0}{L_0} * 100 [\%] \quad (1)$$

$$\sigma = F/S_0 [\text{MPa}], \quad (2)$$

ve kterých F je zatěžující síla, S_0 počáteční průřez zkušební tyče, L délka zkušební tyče a L_0 počáteční délka zkušební tyče. Díky tomu, že počáteční průřez zkušební tyče S_0 je pro danou tahovou zkoušku konstanta, je smluvní napětí v rovn. (2) přímo úměrné zatěžující síle. Je třeba si uvědomit, že smluvní napětí definované v rovn.(2) neodpovídá skutečnému

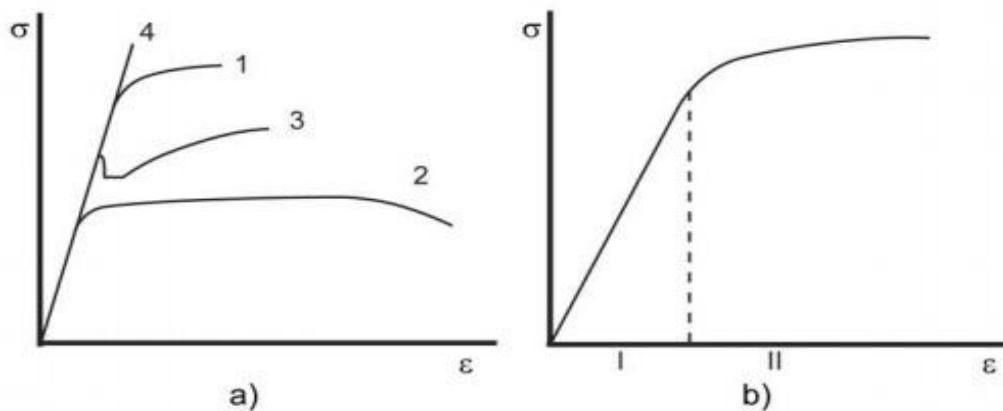
napětí ve vzorku, neboť jeho průřez se během zkoušky mění. Tahový diagram končí v okamžiku přetržení zkušebního vzorku. Možné tvary tahových diagram jsou ilustrovány na obr.12a. Obdobně lze zaznamenat rovněž deformaci při namáhání v tlaku, ohybu atd. Tahová zkouška však bývá v praxi nejčastější. [6]

V tahovém diagramu (obr.12b) rozlišujeme dvě oblasti deformací. První oblast označená I odpovídá pružné (elastické) deformaci a druhá oblast označená II deformaci trvalé (plastické).[6]

V úzké oblasti I se materiál deformuje pružně (elasticky), tzn., že po odlehčení se vrací do původního tvaru (chová se jako pružina). Na atomární úrovni je tato deformace spojena pouze s malým vychýlením atomů z rovnovážných poloh. V této oblasti je závislost napětí na relativní deformaci lineární a popisuje ji Hookův zákon:

$$\sigma = E * \varepsilon \quad (3)$$

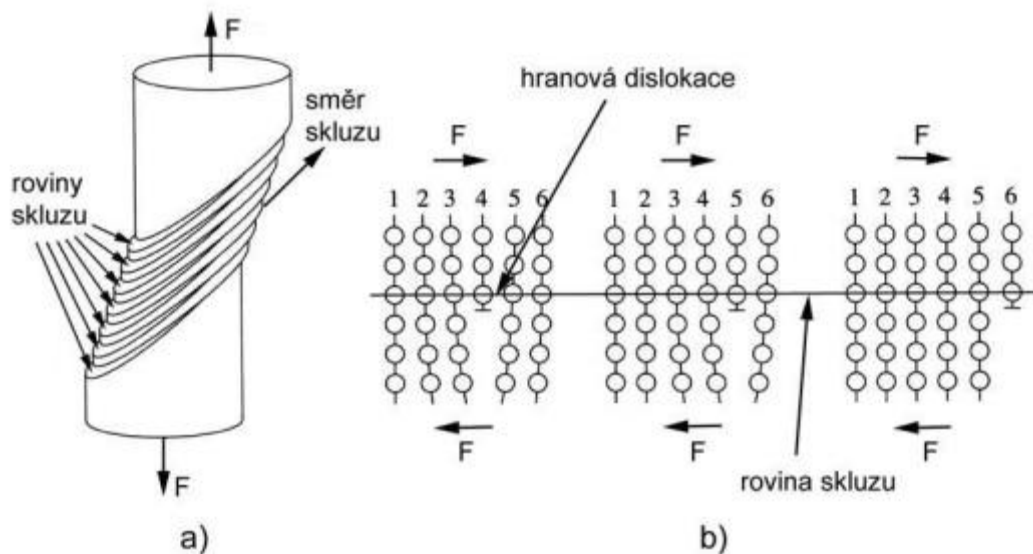
kde E [MPa] je modul pružnosti v tahu. V závislosti na typu namáhání existují rovněž moduly pružnosti v tlaku, ohybu atd. Modul pružnosti v tahu je důležitá materiálová vlastnost.[6]



Obr. 12 Tahové diagramy kovových materiálů: a) možné průběhy tahových diagramů (1 - materiál pevný a málo plastický, 2 - materiál méně pevný a plastický, 3 - materiál s tzv. výraznou mezí kluzu, 4 - materiál křehký), b) oblasti pružné (I) a plastické (II) deformace

V oblasti II (obr.12b) se materiál deformuje trvale (plasticky), tzn., že po odlehčení se již do původního tvaru nevrátí. Plastická deformace vyžaduje nižší nárůst napětí (zatížení) než deformace elastická, o čemž svědčí nižší směrnice křivky v oblasti II v porovnání s oblastí I (malému nárůstu napětí odpovídá velká deformace materiálu). Její mechanismus tedy není možno hledat v hromadném přeskupování velkého počtu atomů najednou, neboť ta-

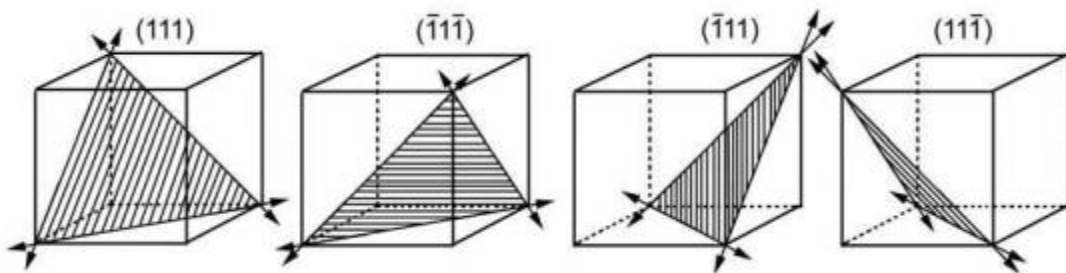
kový mechanismus by vyžadoval obrovské napětí. Plastická deformace kovů probíhá mechanismem, který se nazývá skluz. Stejným způsobem probíhá i skluz uvnitř jednotlivých zrn v polykrystalickém kovu. Tento mechanismus si představujeme jako vzájemné posunutí dvou částí krystalu podél tzv. skluzové roviny (roviny skluzu). Ke skluzu nedochází porušením a následným obnovením všech vazeb podél skluzové roviny najednou, nýbrž pohybem mřížkových poruch - dislokací. Tento pohyb dislokací se nazývá rovněž skluz. Dislokace přítomné uvnitř krystalu (vznikají již během tuhnutí roztaveného kovu) jsou vlivem vnějšího napětí uvedeny do skluzového pohybu a dosáhnou-li povrchu krystalu, projeví se to jako stupínek. Makroskopická deformace je spojena s výstupem velkého počtu dislokací na povrch krystalu. Posunutí částí krystalu průchodem dislokací je energeticky mnohem méně náročné než hromadné porušování všech vazeb podél skluzové roviny. Při skluzu dislokace totiž dochází k porušování vazeb jen mezi atomy v těsném okolí dislokace a vazby ve větší vzdálenosti zůstávají nezměněny. [6]



Obr. 13 Vzájemné posunutí (skluz) dvou částí krystalu (a), ke kterému dochází pohybem dislokací ve skluzových rovinách a jejich výstupem na povrch krystalu (b)

Jak ukazuje obr.13b, skluz dislokací probíhá v rovině skluzu a ve směru skluzu. Dohromady jsou rovina a směr skluzu nazývány skluzový systém. Ne každá kombinace roviny a směru v krystalu však je skluzovým systémem. Nejsnáze probíhá skluz dislokací v mřížkových rovinách a směrech, které jsou hustě zaplněny atomy. Důvodem je fakt, že pokud jsou atomy vzájemně blízko sebe, je jejich přeskupování spojené s pohybem dislokací snadnější, než kdyby byly od sebe dále. Krom toho mají hustě zaplněné roviny velké mezi-

rovinné vzdálenosti a tudíž dostatek prostoru pro přechodné polohy atom. Na obr. 14 jsou skluzové systémy ilustrovány u velmi časté struktury kubické plošně centrované. U této struktury je nejhustěji zaplněna mřížková rovina (111). V této rovině leží tři nejhustěji zaplněné směry skluzu. Soustavy rovin (pod termínem soustava rovin jsou míněny všechny roviny vzájemně rovnoběžné) se stejnou hustotou zaplnění jako má rovina (111) v této struktuře najdeme celkem 4 (obr. 14). Jestliže pro každou z nich jsou možné tři směry skluzu, dostáváme u struktury kubické plošně centrované celkem 12 skluzových systémů. Výše popsaný mechanismus plastické deformace kovů nám dovoluje vysvětlit jednu ze základních vlastností kovů - tvárnost. V kap. 2.4 byly popsány nejčastější krystalové struktury kovů. Všechny tyto struktury mají společné husté vyplnění prostoru atomy. Znamená to, že mřížkových rovin a směrů hustě zaplněných atomy je u těchto struktur dostatek, viz obr. 14, což je nutný předpoklad pro plastickou deformovatelnost polykrystalických materiálů. Pokud při mechanickém namáhání jsou v jednom zrně skluzové systémy vhodně orientovány vzhledem k působícímu napětí, může dojít k jeho plastické deformaci pouze tehdy, když se deformují i zrna sousední. Je-li v nich dostatek vhodných skluzových systémů, pak je taková deformace možná a materiál se chová jako tvárný. Ke snadnému skluzu dislokací přispívá rovněž nesměrová povaha kovové vazby, která tak neklade příliš velké překážky přeskupování atomů v okolí pohybující se dislokace.[6]



Obr. 14 Skluzové systémy u krystalové struktury kubické plošně centrované

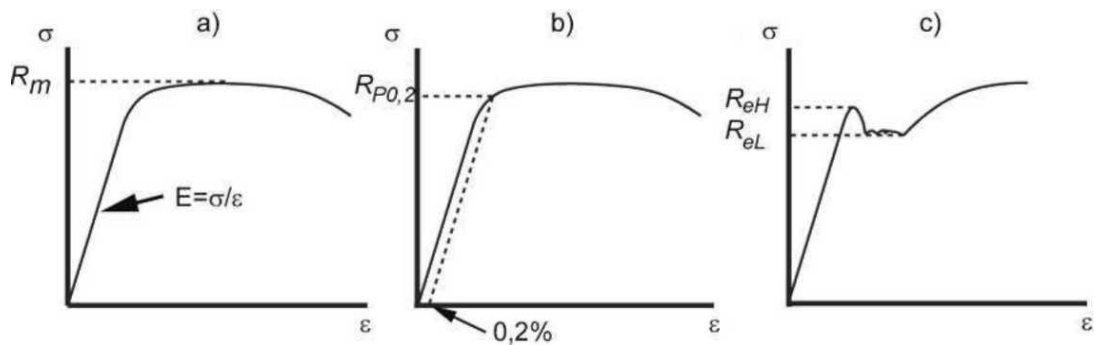
2.6.2 Základní mechanické vlastnosti kovových materiálů

Z tahového diagramu lze odečíst několik základních mechanických vlastností kovových materiálů (viz obr. 15): modul pružnosti v tahu, mez kluzu, mez pevnosti v tahu a tažnost. Modul pružnosti v tahu E definovaný rovn. (3) určuje odpor materiálu proti pružné deformaci - „tuhost“. [6]

Důležitým parametrem odpovídajícím maximálnímu smluvnímu napětí, které může být na daný materiál v tahu aplikováno, je mez pevnosti v tahu R_m , viz obr.15a. Mezi pevnosti tedy nemusí odpovídat poslední bod tahového diagramu. Pokles tahové křivky v poslední části, který nastává u některých materiálů, je způsoben lokálním zaškrcením zkušební vzorku, při kterém klesá síla a tudíž smluvní napětí nutné k deformaci.[6]

Mez kluzu je smluvní napětí, při kterém začíná trvalá (plastická) deformace zkušební tyče. Je to důležitý údaj, který omezuje velikost provozního namáhání dané součásti, aby nedošlo k jejím nevratným deformacím. U řady materiálů je přechod mezi lineární (elastickou) oblastí I a nelineární (plastickou) oblastí II v tahovém diagramu plynulý a neostrý. Začátek plastické deformace nelze zcela přesně určit a v takových případech je proto definována tzv. smluvní mez kluzu, což je smluvní napětí, při kterém plastická deformace dosáhne předepsané hodnoty, nejčastěji 0,2 %. Smluvní mez kluzu se pak označuje $R_{p0,2}$. Odečtení této veličiny z tahového diagramu se provádí tak, viz obr. 15b, že hodnotou 0,2 % na horizontální ose vedeme rovnoběžku s lineární částí křivky a průsečík této rovnoběžky s tahovou křivkou definuje hodnotu $R_{p0,2}$. [6]

U některých materiálů, jako např. u uhlíkových ocelí, se vyskytuje tzv. výrazná mez kluzu R_e . Příčinou tohoto chování je vzájemné působení intersticiálně rozpuštěných příměsí (C, N) v tuhém roztoku $\alpha(\text{Fe})$ a dislokací. Díky tomu, že v okolí dislokace existuje „roztažená“ oblast mřížky, budou mít atomy intersticiálních příměsí tendenci se v této oblasti hromadit. Vzniká tzv. atmosféra příměsí v okolí dislokace, která znesnadňuje pohyb dislokace. Při zatěžování dojde při hodnotě smluvního napětí, která se nazývá výrazná horní mez kluzu R_{eH} , viz obr.15c, k odtržení dislokací od atmosfér. Odtržené dislokace se pohybují snadněji, a proto smluvní napětí nutné pro plastickou deformaci rychle poklesne na tzv. výraznou dolní mez kluzu R_{eL} (obr. 15c). [6]



Obr. 15 Odečtení základních mechanických vlastností materiálů z tahového diagramu: a) modul pružnosti v tahu E a mez pevnosti v tahu R_m , b) smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$, c) výrazná horní mez kluzu R_{eH} a výrazná dolní mez kluzu R_{eL}

Plastické vlastnosti materiálu charakterizuje tzv. tažnost A , což je trvalá relativní deformace po přetržení zkušební tyče. Její výpočet se provádí dle rovnice:

$$A = \frac{L_{max} - L_0}{L_0} * 100 [\%] \quad (4)$$

ve které veličina L_{max} znamená maximální délku zkušební tyče po přetržení.

Vedle tažnosti se k vyjádření plastických vlastností používá ještě tzv. kontrakce Z . Vztahuje se k průřezu zkušební tyče S a je definována jako:

$$Z = \frac{S_0 - S_{min}}{S_0} * 100 [\%] \quad (5)$$

kde S_0 je počáteční průřez tyče a S_{min} nejmenší průřez po přetržení.

Informativní hodnoty mechanických vlastností v tahu vybraných materiálů udává tab.1. Pro praktické přiblížení hodnot uvedených v této tabulce uvedme, že např. mez pevnosti v tahu rovna 500 MPa znamená, že drát z dané slitiny o průřezu 1 mm² unese hmotnost 50 kg (1 MPa znamená 1 N/mm²). [6]

Vedle mechanických vlastností uvedených v tab.1, patří mezi základní mechanické vlastnosti kovových materiálů rovněž tvrdost.

Tvrдость materiálu

Tvrдость je definována jako odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa nebo jako odpor materiálu proti plastické deformaci. Nejčastěji se měří vtlačováním vhodného tělíska (indentoru) do materiálu předepsanou silou, přičemž se hodnotí velikost vzniklého vtisku, z níž se poté stanoví hodnota tvrdosti.

Tab.1 Ilustrativní hodnoty modulu pružnosti v tahu E , meze kluzu $R_{p0.2}$, (u oceli R_{eH}), meze pevnosti v tahu R_m a tažnosti A vybraných kovových materiálů (údaje o složení materiálů jsou uvedeny v hm.%)

Materiál	E [GPa]	$R_{p0.2}, R_{eH}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]
ocel (0,2 % C) ¹	190	300	550	14
dural AlCu4Mg1 ²	73	345	430	5
mosaz CuZn40Pb2 ³	100	160	380	18
bronz CuSn6 ³	110	260	420	20
TiAl6V4 ²	105	790	860	10
MgAl6Zn1 ³	45	205	305	16

¹žiháný stav, ²vytvrzený stav, ³litý stav

Metody měření tvrdosti

Existuje několik metod měření tvrdosti (Brinellova, Vickersova, Rockwellova atd.), které se vzájemně liší typem indentoru a podmínkami měření. Např. u metody Vickersovy je indentorem diamantový čtyřboký jehlan o vrcholovém úhlu 136°. Pro stanovení tvrdosti je nejprve nutné proměřit úhlopříčky vtisku, tvrdost označovaná jako HV se pak vypočte podle vztahu:

$$HV = (0,189 \cdot F) / u^2 \quad (6)$$

kde F [N] je zátěžová síla a u [mm] úhlopříčka vtisku. Informativní hodnoty tvrdosti HV vybraných materiálů udává tab.2 [6]

Tab.2. Tvrдость HV vybraných materiálů

Materiál	HV	Materiál	HV
Au ¹	20	mosaz CuZn37 ²	95
Cu ¹	40	dural AlCu4Mg1 ³	130
bronz CuSn12 ²	85	ocel (0,5 % C) ⁴	700

¹ žiháný stav, ² litý stav, ³ vytvrzený stav, ⁴ kalený stav

3 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ KOVOVÝCH MATERIÁLŮ

3.1 Svařování

3.1.1 Rozdělení metod svařování

Všechny běžné metody svařování lze rozdělit na dvě velké skupiny a to metody tavného svařování a metody tlakového svařování. U tavného svařování je vytvoření spoje dosaženo přívodem tepelné energie do oblasti svaru a dendritickou krystalizací roztaveného svarového kovu. Tlakové metody svařování jsou založeny na působení mechanické energie, která formou makro nebo mikrodeformace přiblíží spojované povrchy na vzdálenost působení meziatomových sil, přičemž vznikne vlastní spoj. [10]

A) Metody tavného svařování

1. Svařování elektrickým obloukem

- Obloukové svařování tavící se elektrodou
- Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou
- Gravitační obloukové svařování obalenou elektrodou
- Obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranného plynu
- Vibrační svařování a navařování
- Pod tavidlem
- Obloukové svařování v ochranné atmosféře
- Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu-MIG
- Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu-MAG
- Obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu
- Obloukové svařování plněnou elektrodou v inertním plynu
- Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu-WIG

2. Elektrostruskové svařování

3. Svařování plazmové

4. Svařování plazmové MIG svařování

5. Svařování magneticky ovládaným obloukem

6. Elektronové svařování

7. Plamenové svařování

- kyslíko - acetylenové svařování
- kyslíko - vodíkové svařování

8. Svařování slévárenské

9. Svařování světelným zářením
10. Laserové svařování
11. Aluminotermické svařování
12. Elektroplynové svařování
13. Indukční svařování

B) Metody tlakového svařování

1. Tlakové svařování za studena
2. Odporové svařování
 - stykové
 - stlačovací stykové svařování
 - odtavovací stykové svařování
 - přeplátování
 - bodové odporové svařování
 - švové odporové svařování
 - rozválcovací švové svařování
 - výstupkové
 - vysokofrekvenční odporové svařování
3. Svařování indukční
4. Svařování v ohni
 - kovářské svařování
 - tlakové svařování s plamenovým ohřevem
5. Třecí svařování
6. Ultrazvukové svařování
7. Výbuchové svařování

3.1.2 Tavné svařování

Plamenové svařování

Zdrojem tepla při plamenovém svařování je chemická energie, která vznikne hořením směsi okysličujícího a hořlavého plynu. Parametry zdroje tepla – plamene se řídí použitými plyny. U kyslíko-acetylenového plamene je maximální teplota plamene $\sim 3150^{\circ}\text{C}$, nejmenší plocha ohřevu $1 \cdot 10^{-2} \text{cm}^2$ a hustota energie $5 \cdot 10^3 \text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$ [10]

Hořlavé plyny

Hořlavých plynů používaných v technické praxi pro plamenové svařování je celá řada. Pro svařování má největší význam acetylen pro jeho velmi dobré vlastnosti. [10]

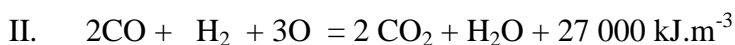
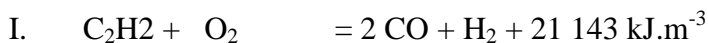
Kyslíko – acetylenový plamen

Tento plamen se podle poměru kyslíku a acetylenu dělí na následující druhy:

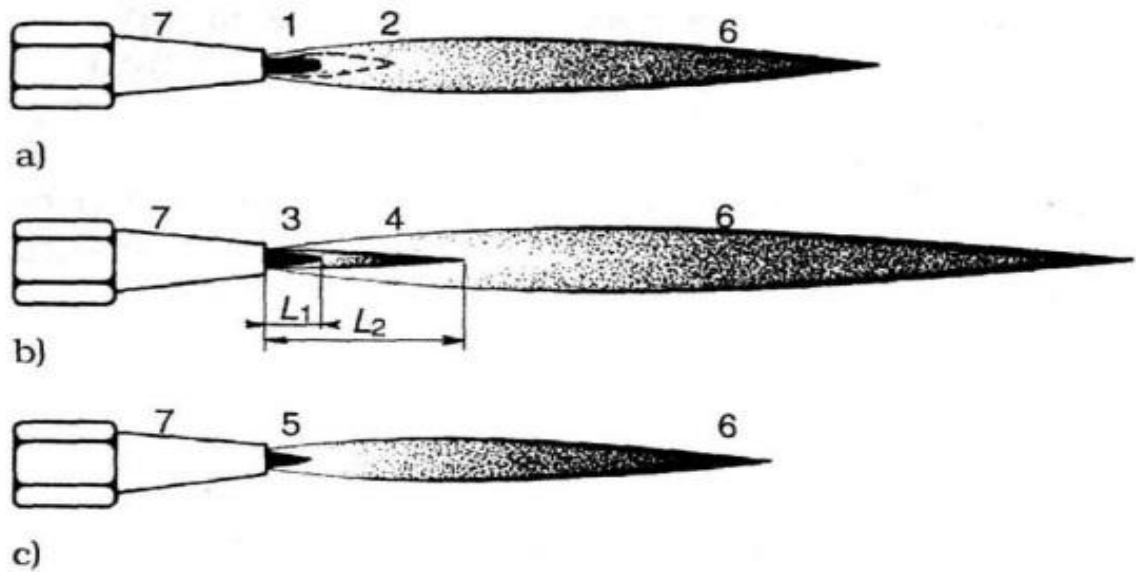
- neutrální, poměr $O_2 : C_2H_2 = 1$ až $1,1 : 1$
- redukční, poměr $O_2 : C_2O_2 < 1$
- oxidační, poměr $O_2 : C_2H_2 = 1,2 : 1$

Jednotlivé typy kyslíko - acetylenového plamene podle rozdělení na plamen neutrální, redukční a oxidační jsou uvedeny na obr. 16

V neutrálním plameni je svařovací plamen ostře ohraničen a září oslnivě bíle. Neutrálním plamenem se obvykle svařuje ocel. Proces spalování probíhá obvykle ve dvou fázích:



V první fázi spalování probíhá nedokonalé spalování na povrchu svařovacího kužele. Acetylen se rozkládá, vodík zůstává z větší části volný, uhlík se spaluje na oxid uhelnatý. Oblast plamene do vzdálenosti asi 10mm od vrcholu svařovacího kužele má redukční účinky. V druhé fázi hoření dochází ke spalování ve vnějším kuželu. Kyslík potřebný k reakci si plamen odebírá ze vzduchu se značným přebytkem, takže vnější plamen má oxidační účinky. Neutrální plamen se v praxi používá, jak již bylo uvedeno pro svařování ocelí a dále pro nahřívací plamen při řezání kyslíkem. Plamen s přebytkem acetylenu (přebytek acetylenu 5 až 15%) se používá pro svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin, k navařování tvrdokovů a k cementování plamenem. Přebytek acetylenu v plameni lze také určit podle délky svítících kuželů L1 a L2, viz obr. 2.4b. Plamen s přebytkem kyslíku (přebytek kyslíku 5 až 20%) se používá pro svařování mosazi a bronzů. [10]



Obr. 16 Rozdělení plamene kyslíko-acetylenového podle poměru kyslíku a acetylenů

- a) neutrální
- b) redukční (s přebytkem acetylenů)
- c) oxidační (s přebytkem kyslíku)

1 -svařovací kužel ostře ohraničený, oslnivě bílý, 2 -redukční oblast plamene,
 3 -svařovací plamen oslnivě bílý, překrytý bělavým závojem, 4 -bělavý závoj,
 5 -svařovací plamen krácený, modrofialový, 6 -vnější oxidační plamen,
 7 -svařovací hubice

Oblasti použití plamenového svařování

Plamenové svařování patří mezi klasické metody svařování vyznačující se dlouhou tradicí. Svoji dominantní úlohu a postavení si stále zachovává v řemeslech, jako jsou topenáři, instalatéři, potrubáři, klempíři, automechanik a další. Nezastupitelnou úlohu má v opravárenství a renovacích. Velmi často se můžeme setkat se svařováním plamenem při navařování tvrdých i jiných návarů. Snad více než u ostatních metod svařování ovlivňuje řemeslná zručnost svářeče výsledky svařování plamenem. Hlavní oblast použití svařování plamenem je pro svařování slabých plechů do tloušťky 4mm. I v této oblasti je však z důvodů vznikajících deformací a vnitřních prnutí nahrazováno svařování plamenem metodou svařování MAG. [10]

Svařování elektrickým obloukem.

Elektrický oblouk.

Elektrický oblouk využitelný ve svařování je nízkonapěťový elektrický vysokotlaký výboj, který hoří v prostředí ionizovaného plynu. Stabilně hoří za předpokladu napětí dostatečného pro ionizaci daného prostředí a proudu udržujícího plazma oblouku v ionizovaném stavu. [10]

Charakteristické znaky oblouku jsou:

- malý anodový úbytek napětí,
- malý potenciální rozdíl na elektrodách,
- proud řádově ampéry až tisíce ampér,
- velká proudová hustota katodové skvrny,
- intenzivní vyzařování světelného záření z elektrod i sloupce oblouku,
- intenzivní vyzařování UV záření.

Části elektrického oblouku:

Katodová skvrna je ostře ohraničená oblast, která termickou emisí emituje prvotní elektrony důležité pro zapálení oblouku a ionizaci plynného prostředí. Elektrony získávají v oblasti katodového úbytku napětí tak velkou kinetickou energii, že jsou schopny při srážkách ionizovat neutrální atomy na kladné ionty a sekundární elektrony. Teplota skvrny je cca 2600 °C. [10]

Anodová skvrna

Anodovou skvrnou jsou neutralizovány a odváděny dopadající záporné částice. Kinetická energie částic se mění na tepelnou a z části i na elektromagnetické záření. Teplota anodové skvrny je cca 3000 °C. [10]

Sloupec oblouku je zářivě svítící oblast disociovaného a ionizovaného plynu ve formě plazmy mezi elektrodami, která dosahuje vysokých teplot 4000 až 7000°C [10]

Svařování ruční obalenou elektrodou.

Pro ruční svařování elektrickým obloukem se jako přídavné materiály používají obalené elektrody. Tyto se skládají z jádra a z obalu elektrody. Jádro elektrody tvoří drát průměru 1,6 2,0 2,5 3,15 4,0 5,0 a 6,0 mm. [10]

Funkce obalu elektrod:

- funkce plynotvorná (při hoření oblouku vznikají z obalu kouře a plyny, které vytvářejí druh ochranné atmosféry a brání přístupu vzdušného kyslíku a dusíku ke svarové lázni, např. celulóza, tepelný rozklad CaCO_3 na CO_2 a CaO),
- funkce ionizační (slouží v obalu pro usnadnění zapalování a hoření oblouku, např. soli alkalických kovů K a Na),
- funkce metalurgická – rafinace (snížení P a S), desoxidace (snížení O₂) a legování (především prvků náchylných k propalu – Cr, Mo, Ti atd.) [10]

Technologie svařování obalenou elektrodou.

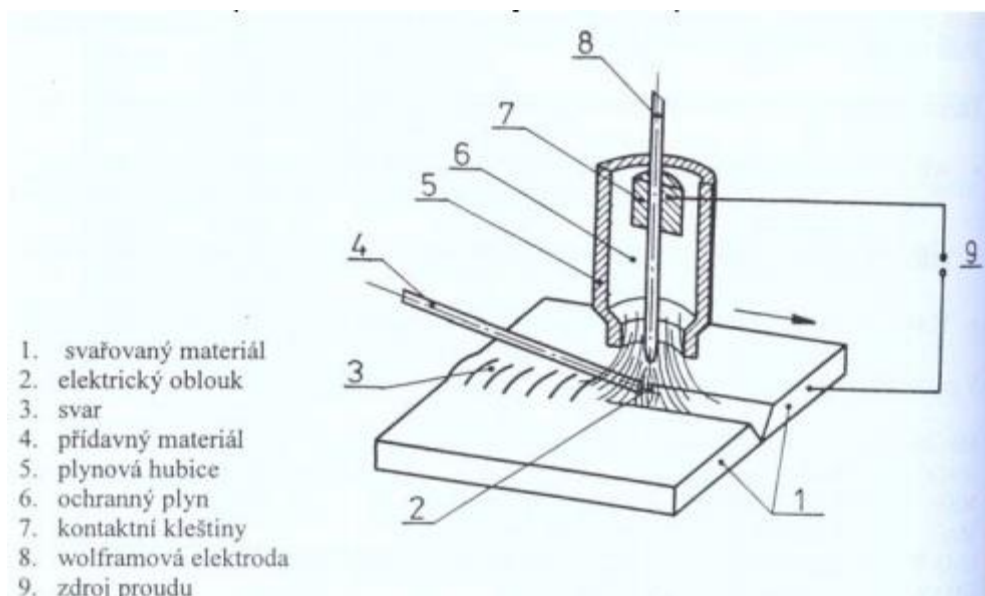
Svařování el. obloukem obalenou elektrodou je poměrně jednoduchou metodou svařování, jak z hlediska parametrů svařování, tak i z hlediska poloh svařování. Svařovací proud může svářeč nastavit podle údajů výrobce elektrod. Napětí na el. oblouku nemusí svářeč nastavovat a jeho hodnota je dána statickou charakteristikou elektrického oblouku.

Při vedení elektrického oblouku a elektrody je třeba postupovat tak, že elektroda je mírně skloněna proti svarové housence, aby roztavená struska nepředbíhala elektrický oblouk a nezpůsobovala struskové vměstky ve svarovém kovu (vada svaru). Délka elektrického oblouku má být přibližně rovna průměru jádra elektrody. Zakončení svarové housenky musí být takovým postupem, aby nedošlo vzniku staženiny v koncovém kráteru. Pro svářeče to znamená, že musí v koncovém kráteru se při odtavení svarového kovu provést ještě zatočení se s obloukem a odtavit ještě určité množství svarového kovu, aby bylo ještě z čeho dosazovat svarový kov a zabránit tak vzniku staženiny. [10]

Svařování netavící se wolframovou elektrodou v atmosféře inertního plynu – WIG (TIG).

Při svařování metodou WIG hoří oblouk mezi netavící se elektrodou a základním materiálem. Ochranu elektrody i tavné lázně před okolní atmosférou zajišťuje netečný plyn o vysoké čistotě minimálně 99.995%. Používá se argonu, helia nebo jejich směsí. Svařování lze realizovat s přídavným materiálem ve formě drátu ručním způsobem, nebo automatické svařování s podavačem drátu s proměnnou rychlostí jeho podávání dle postupu svařování.

Obecně lze svařování rozdělit dle druhu proudu na svařování střídavým proudem pro hliník, hořčík a jejich slitiny a svařování stejnosměrným proudem pro středně a vysokolegovanou ocel, měď, nikl, titan, zirkon, molybden a další. Pro svařování uhlíkové oceli se metoda WIG používá méně z důvodu nebezpečí vzniku pórů ve svaru a z ekonomického hlediska. Svařování wolframovou elektrodou se používá i pro spojování obtížně svařitelných materiálů s vysokou afinitou ke kyslíku např. titan a zirkon. Lze svařovat i různorodé materiály – ocel s mědí, bronzem nebo niklovými slitinami a návary v oblasti renovací např. nástrojové oceli, niklové a kobaltové tvrdonávary. Svařování WIG má výrazný růst objemu svářečských aplikací což se připisuje vysoké kvalitě spojů, operativnosti řízení procesu svařování a vysokému stupni automatizace a robotizace. [10]

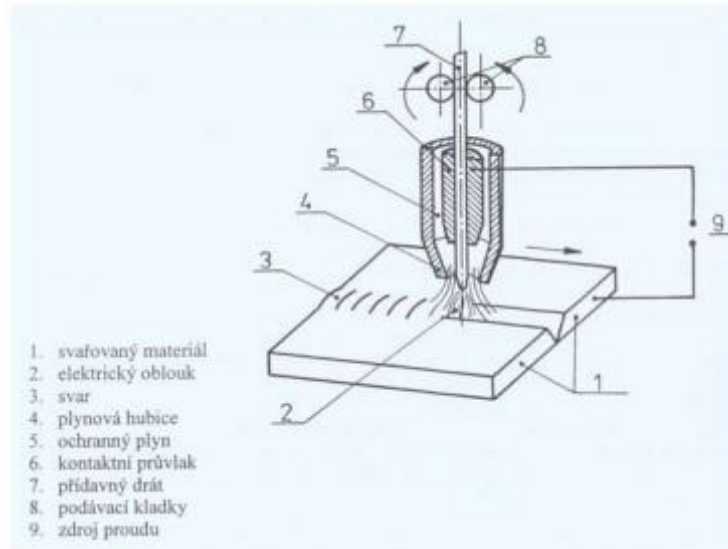


Obr. 17 Princip svařování metodou WIG

Svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu metodou MIG/MAG.

Svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu MAG patří vedle svařování obalenou elektrodou v celosvětovém měřítku k nejrozšířenějším metodám pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Svařování MIG v inertním plynu získává na důležitosti vlivem růstu objemu konstrukcí, staveb, lodí a dopravních prostředků vyráběných z hliníkových slitin. Hlavními důvody rozšíření metody MIG/MAG jsou: široký výběr přídavných materiálů a ochranných plynů, snadná možnost mechanizace a robotizace, velký sortiment vyráběných svařovacích zařízení a především významné výhody a charakteristiky uvedené metody svařování. Svařování metodou MIG/MAG je založeno na hoření oblouku mezi tavící se elektrodou ve formě drátu a základním materiálem v ochranné atmosféře inertního nebo aktivního plynu. Napájení drátu elektrickým proudem je zajištěno třecím kontaktem v ústí hořáku tak, aby elektricky zatížená délka drátu byla co nejkratší. Drát je podáván podávacími kladkami umístěnými v podavači, vlastním hořáku, nebo kombinací obou systémů z cívky o běžné hmotnosti 15 kg. Proudová hustota je u svařování MAG nejvyšší ze všech obloukových metod a dosahuje až $600 \text{ A}\cdot\text{mm}^{-2}$ a svařovací proudy se pohybují od 30 A u svařování tenkých plechů drátem o průměru 0,6 – 0,8 mm, až do 800A u vysokovýkonných mechanizovaných metod. Charakter přenosu kovu obloukem závisí na parametrech svařování a ochranném plynu, přičemž běžný je zkratový pro tenké plechy a sprchový pro větší tloušťky plechů. U vysokých proudů se mění charakter přenosu kovu obloukem a vlivem elektromagnetických sil se dosahuje rotujícího oblouku. Teplota kapek se při MAG svařování pohybuje v rozmezí 1700 až 2500 °C a teplota tavné lázně se v závislosti na technologii, parametrech svařování, chemickém složení a vlastnostech materiálu pohybuje mezi 1600 až 2100 °C. [10]

Díky vysokým proudům se svařovací rychlosti blíží hranici $150 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$ a rychlost kapek přenášených obloukem přesahuje $130 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Ochranná atmosféra se volí podle druhu svařovaného materiálu, ovlivňuje však také přenos kapek v oblouku, rozstřík, rozsah chemických reakcí a teplotní poměry v oblouku. [10]



Obr. 18 Princip svařování metodou MIG/MAG

Speciální metody tavného svařování

U těchto metod svařování se dosahuje protavení celé tloušťky materiálu pomocí vysoké hustoty energie nad $105\text{W}\cdot\text{cm}^2$. Teplota v tavné lázni u těchto metod dosahuje velmi rychle bodu varu kovu a tvoří se kapilára vyplněná parami kovů. Svar se tvoří po průchodu zdroje tepla. Patří sem svařování plazmou, svazkem elektronů a laserem. [10]

Svařování plazmou.

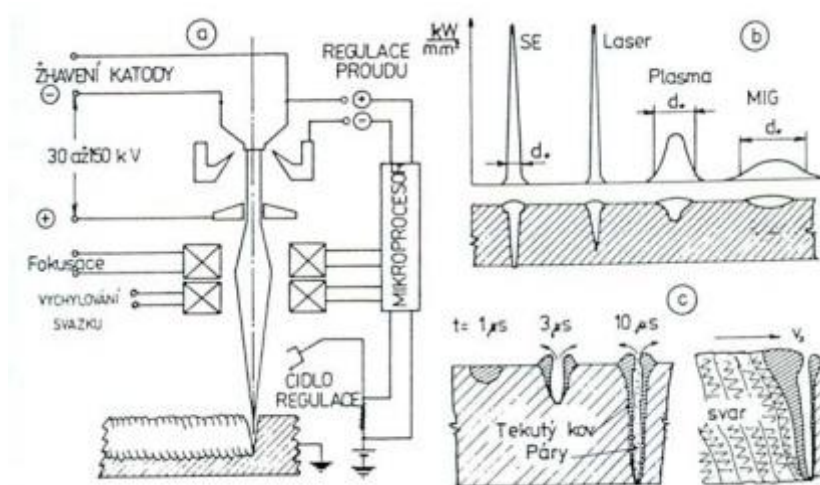
Princip svařování plazmou je založen na ionizaci plynu při průchodu elektrickým obloukem. U dvouatomových plynů (dusík, vodík a kyslík) musí nejprve proběhnout disociace plynu, při které dochází k rozložení molekul plynu na atomy. Stupeň následné ionizace je závislý na teplotě a ta dosahuje u svařování plazmou až $16\,000\text{ }^\circ\text{C}$. [10]

Svařování svazkem elektronů.

Princip svařování svazkem elektronů:

Vlastní zdroj elektronů je válcová vakuovaná nádoba na jednom konci opatřená přímo nebo nepřímo žhavenou emisní elektrodou a na druhém konci vybavená oddělovacím uzávěrem, který je kombinovaný s hranolem pozorovací optiky. Zdroj elektronů bývá nazýván elektronové dělo nebo elektronová tryska a je pomocí rotační a difúzní vývěvy čerpán na vysoké vakuum až $5\cdot 10^{-4}\text{ Pa}$. Některé zdroje používají pro rychlejší získání vakua turbomolekulární vývěvu. Vakuum je nezbytné z důvodu zajištění termoemise elektronů, tepelné a chemické izolace katody, zamezení vzniku oblouku mezi elektrodami a zamezení srážkám

elektronů s molekulami vzduchu, které způsobují zbrzdění elektronů a jejich vychýlení z přímého směru. Vlastní svařování probíhá v pracovní vakuové komoře, kde svařovací pohyb je zajištěn programovatelným polohovadlem s několika stupni volnosti. Elektronky jsou termoemisí uvolněny ze žhavené záporné elektrody a urychlení elektronů se dosahuje vysokým napětím, jenž mezi katodou a anodou vytváří potenciál 30 až 200 kV. Elektronky dopadají na povrch materiálu a jejich kinetická energie se mění na tepelnou. Během několika μs dosáhne materiál teploty tavení, posléze teploty varu kovu a vytvoří se úzká kapilára vyplněná parami kovů o nízkém tlaku. Tento tlak je však dostatečně vysoký, aby spolu s reakční silou udržel taveninu na stěně kapiláry. [10]



Obr. 19 a) Princip svařování svazkem elektronů b) Srovnání hustoty energie c) Mechanismus tvorby svaru

Laserové svařování

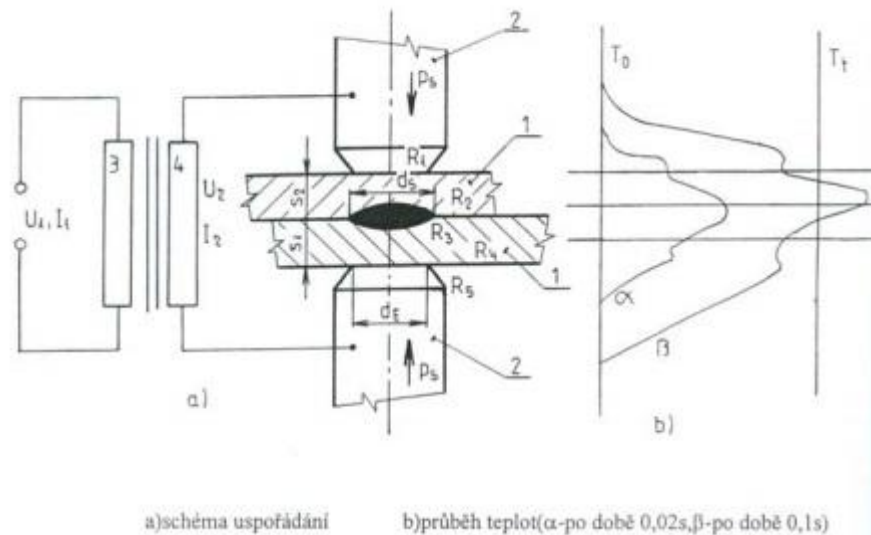
Název LASER vznikl ze začátečních písmen anglického popisu samotné podstaty jeho principu činnosti Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – zesílení světla stimulovanou emisí záření. Proces zesílení má charakter řetězové reakce a je dále zvyšován průchody rezonátorem – aktivním prostředím laseru, které je uzavřeno dvěma zrcadly se vzdáleností rovnající se násobku vlnové délky emitovaného záření. Zrcadlo se 100% odrazivostí vrací všechny fotony do aktivního prostředí, ale polopropustné zrcadlo s 80% až 90% odrazivostí propustí po dosažení kritického množství fotonů část záření ve formě krátkého vysokoenergetického pulsu. [10]

3.1.3 Tlakové svařování

Mezi metody tlakového svařování lze zařadit tyto metody: Svařování elektrickým odporem, svařování třením, difúzí, ultrazvukem, výbuchem, tlakem za studena a indukční. U všech způsobů, vzniká spoj v důsledku silového působení při přiblížení kontaktních ploch na vzdálenost působení meziatomových sil, tzn. téměř na parametr atomové mřížky. Ke spojení dochází v tuhém nebo plastickém stavu bez vnějšího přívodu tepelné energie (kromě difúzního a indukčního svařování). Teplo se na svarových plochách vyvíjí v důsledku elektrického přechodového odporu, třecích nebo makrodeformačních pochodů. Ve svaru nevzniká licí struktura jako u tavného svařování. [10]

Svařování elektrickým odporem

Průtokem elektrického proudu svařovaným místem se materiál svařovaných součástí ohřeje odporovým teplem, stane tvárným, nebo se roztaví, načež se materiály stlačí a tím se spojí. Zdrojem tepla je elektrický odpor v místě styku svařovaných materiálů (přechodový odpor). [10]



Obr. 20 Princip svařování el. odporem

Množství vznikajícího odporového tepla lze stanovit podle Joule - Lenzova zákona:

$$Q = 0,24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t$$

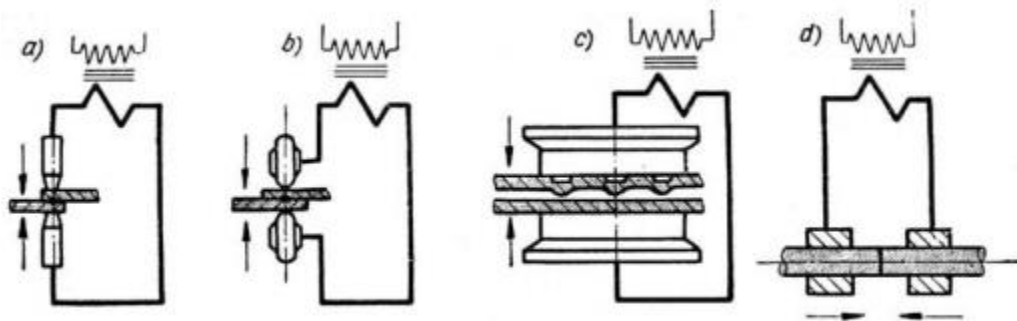
kde - Q je množství tepla v J

R – elektrický odpor (ΣR) v Ω (skládá se z několika složek odporu)

I - proud v A

t - doba průchodu proudem v s

Odporové svařování dělíme na čtyři hlavní druhy:



Obr. 21 Druhy odporového svařování

a) bodové odporové svařování

b) švové odporové svařování

c) výstupkové odporové svařování

d) stykové odporové svařování

Svařování třením

Základní princip svařování třením je založen na vzájemném pohybu dvou součástí při působení přitlačné síly. Nejčastěji se svařují rotační součásti, kdy jeden souose vystředěný díl svařované součásti rotuje a druhý stojí, nebo vykonává opačný pohyb. Na jeden z dílů působí přitlačná síla, která dává vzniknout třecím silám. Přiváděná mechanická energie se mění na tepelnou při značně vysoké účinnosti. Vysokým měrným tlakem se oba povrchy nejprve zarovnávají, deformují a posléze nastane hluboké vytrhávání povrchu při vzniku a zániku mikrosvarů, silný ohřev (až 90% všeho uvolněného tepla) a výrazná délková deformace. Současně dochází k tvorbě charakteristického výronku. [10]

Difúzní svařování

Vlastní spojení kovů při tomto způsobu svařování vzniká za působení teploty a odpovídajícího měrného tlaku na kontaktních plochách. Spoj je tvořen přiblížením kontaktních ploch v důsledku lokální plastické deformace, která zaručuje vzájemnou difúzi v povrchových vrstvách spojovaných materiálů. Hlavní parametry difúzního svařování jsou teplota, tlak a čas. Teplota svařování závisí na tavicí teplotě svařovaných materiálů, přičemž u dvou rozdílných kovů se řídí nižší tavicí teplotou kovu. Teplota dosahuje 70 až 80 % teploty tavicí. Svařovací tlak musí zaručit přiblížení spojovaných ploch na takovou vzdálenost, aby mohla nastat difúze v celé ploše, ale současně nedošlo k tvorbě makroskopické deformace. Čas potřebný pro difúzi se pohybuje v minutách v rozmezí od 3 do 60 minut. Svařování se provádí ve vakuu nebo taveninách solí. [10]

Difúzním svařováním lze spojovat kovy různých vzájemných kombinací a také kovy s keramikou, sklem a grafitem. Svařování se uplatňuje v oblasti nástrojů, přístrojové techniky, kosmické a letecké techniky. [10]

Svařování tlakem za studena.

Svařování tlakem za studena patří mezi nejstarší technologie spojování kovů. Principem svařování je přiblížení povrchů svařovaných materiálů na vzdálenost řádově parametrů mřížky, kdy dochází k interakci mezi jednotlivými atomy kovu za vzniku pevné vazby. K dosažení požadovaného přiblížení je nutná výrazná plastická deformace, která musí být minimálně 60%. Výhodný je výrazný poměr mezi tvrdostí kovu a příslušným oxidem. [10]

Svařování ultrazvukem.

Tento způsob svařování využívá mechanického kmitání o vysoké frekvenci – ultrazvuku, pro vytvoření svarového spoje. Zdroj kmitání se skládá z ultrazvukového měniče, jehož vinutí je napájeno elektronickým vysokofrekvenčním generátorem proudu o frekvenci 4 – 100 kHz. Vlastní kmitač se skládá z magnetostrikčního měniče (Slitina Fe + Ni, Fe + Co + V), nebo piezoelektrického měniče (titanát baria, zirkontitanát olova) na který je připojen trychtýřovitý vlnovod zesilující amplitudu kmitání. Vlnovod je ukončen tzv. sonotrodou, která přenáší kmitání na svařovaný materiál. Sonotrody jsou přitlačovány silou, která zajišťuje přenos ultrazvukových kmitů do místa spoje. Kmitání je přenášeno na rozhraní dvou spojovaných materiálů, kde dochází k plastické deformaci kovů a relativně malému zvýšení teploty. [10]

Výhodně se svařují materiály s kubickou, plošně centrovanou mřížkou – Al, Cu, Ni, Co atd., které se vyznačují velmi dobrou plastičností. Optimální amplituda svařování se pohybuje mezi 5 – 35 μm . Frekvenci kmitů v zásadě určuje typ ultrazvukového zařízení a pohybuje se v intervalu mezi 10 až 100 kHz. Svařovací časy jsou velmi krátké a dosahují obvykle 3 až 6 vteřin s maximem do 10 vteřin. Přítlačná síla zajišťuje přenos ultrazvukových kmitů na materiál a optimální hodnota měrného tlaku se pohybuje v rozmezí 0,4 až 1,2 MPa. [10]

3.2 Pájení

Pájení je způsob metalurgického spojování dvou kovů třetím roztaveným kovem – pájkou. Povrchové atomy základního materiálu se dostanou do styku s atomy roztavené pájky v takové vzdálenosti, že se vytvoří podmínky pro účinek adhezních a kohezních sil (adheze = přilnavost, koheze = soudržnost). Ve většině případů nastává difuze a rozpouštění stykové plochy základního materiálu v roztavené pájce. Teplota tání pájky je vždy nižší než teplota základního kovu. Pájka musí mít dobrou smáčivost a vzlínavost, vyhovující mechanické vlastnosti a malý rozdíl elektrického potenciálu vůči základnímu materiálu. Podle teploty tání se pájky dělí na měkké - do 500°C a tvrdé - 500°C až 1000°C. [11]

Smáčivost je schopnost tekuté pájky přilnout k čistému povrchu spojovaného materiálu při určité teplotě.

Vzlínavost je schopnost pájky vyplňovat úzké mezery působením kapilárních sil.



Obr. 22 Kovy, které je možno pájet

Měkké pájky jsou cínové a zvláštní. Zvláštní pájka je určena k měkkému pájení hliníku. Měkké pájky se používají na spoje malé pevnosti v tahu (20 až 80 MPa) a ve střihu (do 40 MPa). Tvrdé pájky jsou na bázi slitin, mědi, hliníku a stříbra. Používají se na spoje větší pevnosti (až 500 MPa). Stříbrné pájky vytvářejí houževnatější spoje než pájky mosazné. Pájené plochy musí být dokonale čisté a odmaštěné. [11]

Výhody pájení:

- menší spotřeba tepelné energie, větší pracovní rychlost,
- vysoká produktivita práce,
- možnost spojování všech kovů a slitin, kombinovaných kovových a nekovových materiálů, jednoduchých i složitých tenkostěnných nebo tlustostěnných součástí,
- vzniká menší vnitřní pnutí ve spoji a zároveň dochází i k menším strukturním změnám základního materiálu.

Nevýhody pájení:

- především u pájení naměkko je dosahováno jen malé pevnosti spoj
- pájené spoje jsou napadnutelné korozí – vzhledem k rozdílným materiálům pájky a základního materiálu

3.3 Tváření

Tvářením kovů rozumíme technologický (výrobní) proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru, příp. vlastností, v důsledku působení vnějších sil. Podstatou tváření je vznik plastických deformací, ke kterým dojde v okamžiku dosažení napětí na mezi kluzu pro daný materiál. [8]

Výhodami tváření jsou vysoká produktivita práce, vysoké využití materiálu a velmi dobrá rozměrová přesnost tvářených výrobků. Nevýhodou je vysoká cena strojů a nástrojů a omezení rozměry konečného výrobku. Nejdůležitější rozdělení technologií pro zpracování kovů je podle fyzikální podstaty dějů, tzn. podle vztahu teploty tvářeného materiálu k teplotě rekrytalizace (přibližně 0,4 teploty tání kovu). [8]

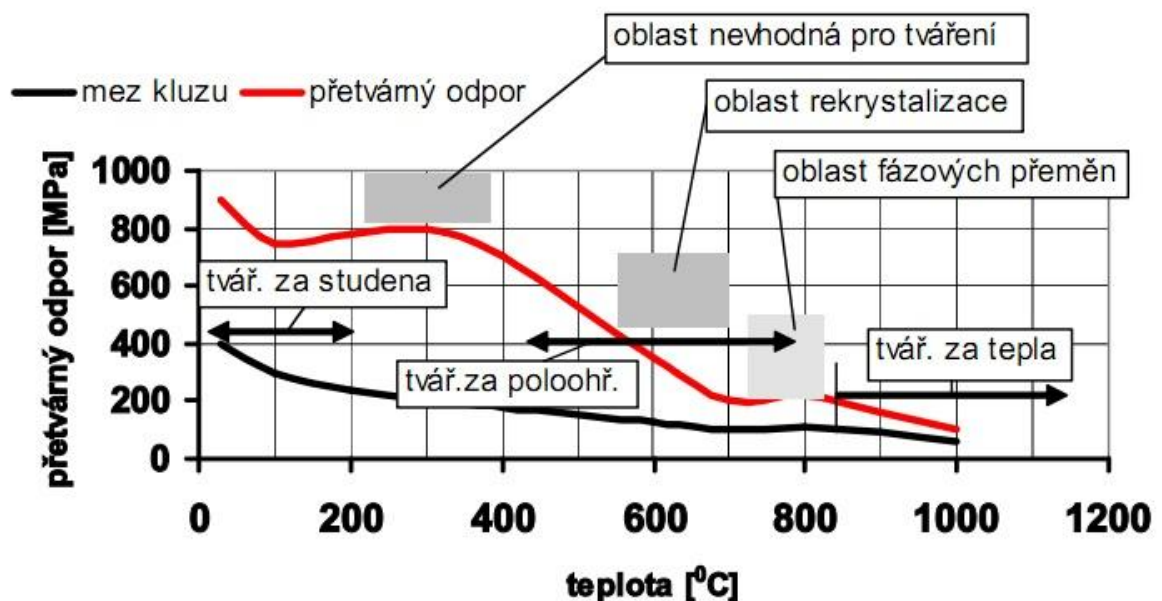
Tváření za studena (tváření pod rekrytalizační teplotou, pod hodnotou 30 % teploty tání tvářeného materiálu), kdy dochází ke zpevňování materiálu a zrna se deformují ve směru

tváření, vytváří se textura. Zpevněním se zvyšují mechanické hodnoty (mez pevnosti a mez kluzu) a klesá tažnost. Výhodou je vysoká přesnost rozměrů, kvalitní povrch (nenastává okujení) a zlepšování vlastností zpevněním. Nevýhodou je nutnost používat velké tvářecí síly, nerovnoměrné zpevňování a omezená tvárnost materiálu. [8]

Tváření za tepla probíhá nad rekrystalizační teplotou (nad hodnotou 70 % teploty tání daného materiálu). Materiál se nezpevňuje a k tváření stačí síly až desetkrát menší, než u tváření za studena. Nevzniká textura, ale povrch je nekvalitní vlivem okujení. [8]

Tváření za poloohřevu představuje kompromis mezi tvářením za studena a za tepla. Probíhá od teplot těsně pod rekrystalizační oblastí

Obecná závislost mechanických vlastností ocelí na teplotě (zjednodušeně): skutečné průběhy závislosti meze kluzu a přetvárného odporu jsou ovlivněny druhem oceli. Vyznačené oblasti tváření a velikost přetvárného odporu se mění i podle rychlosti a velikosti tváření. [8]

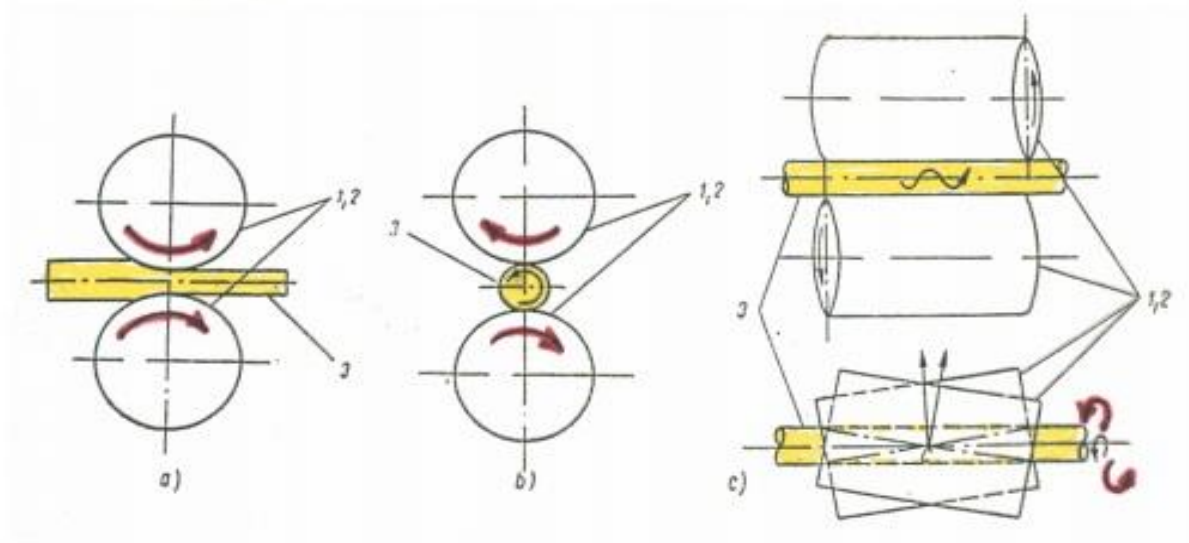


Obr. 23 Závislost mech. vlastností ocelí

Tváření kovů se dále dělí na:

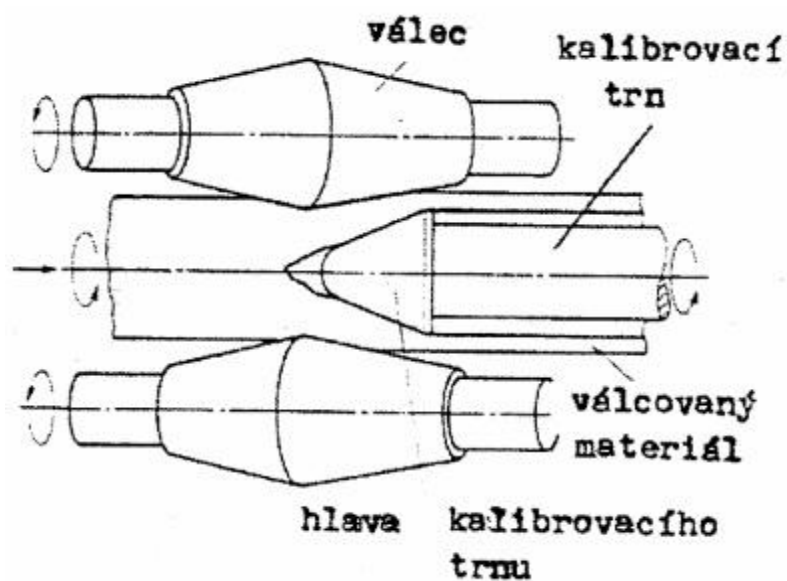
Tváření objemové, při kterém deformace nastává ve směru všech tří os souřadného systému a patří sem válcování, kování, protlačování, tažení drátů.

Tváření plošné, při kterém převládají deformace ve dvou směrech. Patří sem tažení, ohýbání, stříhání, apod. [8]



Obr. 24 Princip podélného (vlevo), příčného (uprostřed) a kosého (vpravo) válcování (1, 2 – válce, 3 – materiál)

Kosé válcování bezešvých trubek: materiál se posouvá ze středu průřezu ven směrem k obvodu, který se zvětšuje a tím dochází k tvorbě vnitřních trhlin – k děrování: vzniklá díra má nepravidelný tvar a proto se kalibruje trnem. [8]



Obr. 25 Válcování trubek

3.4 Odlévání

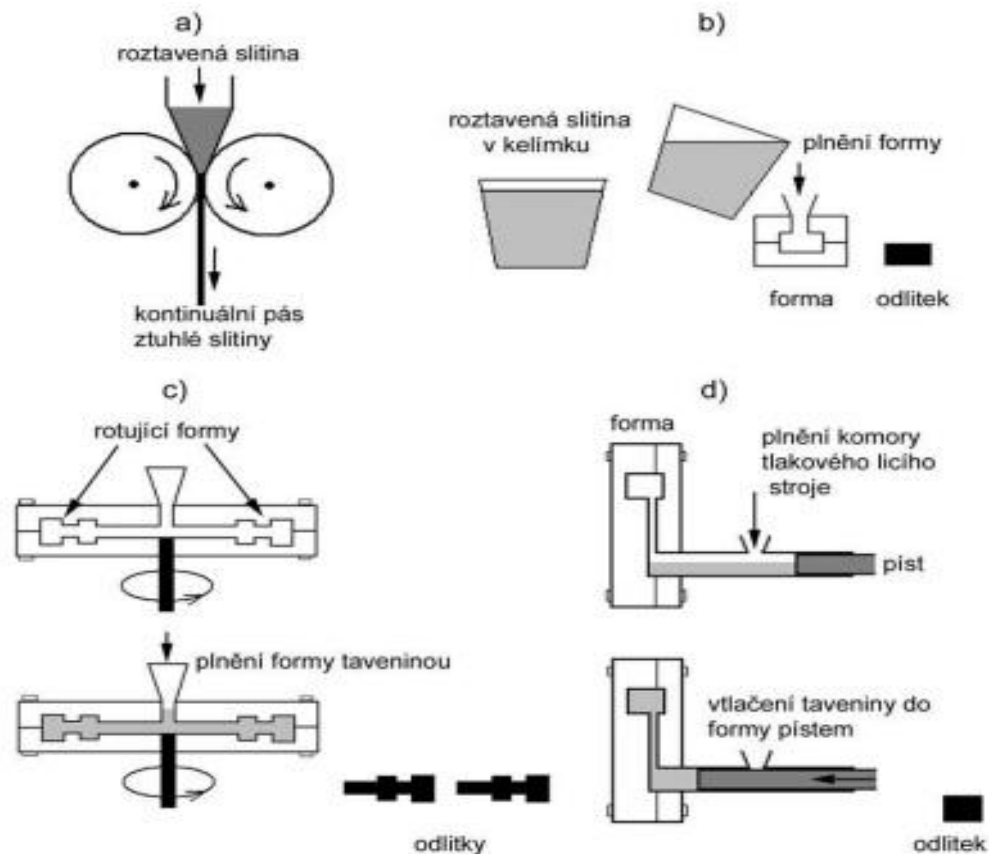
Odlévání je základním technologickým krokem při zpracování kovů a slitin. Spočívá v odlití roztaveného materiálu do formy příslušného tvaru, ve které materiál tuhne. Formy, které se pro odlévání využívají, mohou obecně být:

- kovové
- nekovové.

Kovové formy se nazývají kokily. Nekovové formy se vyrábějí např. smísením písku s jílovým pojivem a vodou s následným vysušením. Takové formy jsou označovány jako pískové. [6]

Při odlévání mohou vznikat tvarově jednoduché polotovary, které jsou dále do požadovaných tvarů výrobků zpracovávány tvářením. Mezi takové polotovary patří tzv. ingoty, což jsou jednoduché odlitky ve tvaru válců nebo hranolů, které mohou mít délku až několik metrů a které se odlévají do rozměrných kovových forem. Polotovarem pro tváření může být rovněž pás slitiny vyráběný tzv. kontinuálním litím, při kterém je roztavená slitina odlévána např. mezi dva válce, viz obr.26a, kde tuhne. [6]

Další možností je odlévání slitiny do formy téměř finálního tvaru. Ztuhlý materiál se nazývá odlitek. Pro získání odlitků složitých tvarů lze využít několika technologií odlévání, z nichž některé jsou ilustrovány na obr.26b-d. Nejjednodušší je tzv. gravitační lití (obr.26b) spočívající v nalití roztavené slitiny do formy, která je taveninou vyplněna pouze působením gravitační síly. U tvarově složitých forem však někdy pouze gravitační síla k dokonalému vyplnění formy taveninou nestačí. Rovněž u drobných forem existuje nebezpečí, že roztavená slitina ztuhne dříve, než dojde k vyplnění celé formy. V takových případech je třeba zvýšit sílu a rychlost, kterou je roztavený kov do formy vtlačován. Za tímto účelem bylo vyvinuto tzv. odstředivé lití, u kterého formy rotují a tavenina je do nich tlačena odstředivou silou (obr.26c). Ještě vyšší silou a rychlostí je roztavená slitina vtlačována do formy při tzv. tlakovém lití. V tomto případě tlačí taveninu do formy pod velkým tlakem píst tlakového licího stroje (obr.26d). Tlakové lití umožňuje výrobu tvarově velmi složitých odlitků např. v automobilovém průmyslu. [6]



Obr. 26 a) kontinuální lití pásu, b) gravitační lití, c) odstředivé lití, d) tlakové lití

3.5 Obrábění

Obrábění slouží jednak k dosažení přesného konečného tvaru výrobku a jeho požadovaných rozměrů a také k získání požadované kvality povrchu součásti. Mezi operace obrábění řadíme např. soustružení, frézování, vrtání, broušení. V těchto operacích je přebytečný materiál odebírán pomocí obráběcích nástrojů (vrták, soustružnický nůž, brusný kotouč atd.). [6]

Schopnost materiálu být obráběn požadovaným způsobem je nazývána obrobiteľnosť. Tato vlastnosť závisí v prvním řadě na mechanických vlastnostech daného materiálu. Například velmi tvrdé materiály (kalené oceli) mívají špatnou obrobiteľnosť. Pro dobrou obrobiteľnosť nebývají žádoucí ani příliš měkké a houževnaté materiály, neboť u nich dochází k deformaci povrchových vrstev a k lepení neboli ke zhoršenému oddělování třísky (odebíraný materiál) od obráběcího nástroje. Pro dobrou obrobiteľnosť je žádoucí lámavost odebírané třísky. [6]

3.6 Prášková metalurgie

Podstata práškové metalurgie

Prášková metalurgie je technologie, při které jsou zhotovovány polotovary nebo hotové výrobky spojováním kovů nebo kovů s nekovy ve formě prášků působením tlaku a tepla při teplotách nižších než je teplota tavení alespoň jedné ze spojovaných složek.[9]

Užití technologie práškové metalurgie

Tato technologie se používá v případech, kdy:

- není možno dané materiály zpracovat jinou technologií, jako například v případech spojování komponent, které se spolu neslévají,
- je tato technologie hospodárnější než jiné, jako například při zpracování materiálů s vysokým bodem tavení nebo při sériové výrobě drobných součástí,
- tato technologie dává lepší výsledky než technologie ostatní, jako například při požadavku vysoké čistoty materiálů, požadavku dosažení přesného chemického složení nebo potřeby dosažení zvláštní struktury (poréznost).

Nevýhodami práškové metalurgie jsou:

- menší hutnost a tím i pevnost a houževnatost vyrobených materiálů,
- vysoké náklady na nástroje. [9]

Výrobní postup technologie práškové metalurgie

Výrobní postup se skládá z několika etap:

- výroba prášků,
- úprava prášků,
- lisování prášků,
- spékání čili slinování výlisků z prášků,
- konečná úprava výrobků. [9]

Výroba a úprava prášků

Prášky je možno vyrábět způsoby

- fyzikálními - drcením a mletím, které se užívají zejména u Cu, Fe, Al, Cr,
- rozprašováním tekutého kovu vzduchem nebo vodou, které se užívá zejména u Pb, Zn, Sn, Al, Fe,
- kondenzací par, která se užívá zejména u Zn, Cd,
- chemickými, založenými na redukci rud, které se užívají zejména u Cu, Ag, Fe, Ni, Co, W, Mo, Ti.

Úprava prášků navazuje na jejich výrobu a způsoby úpravy závisejí na dalším zpracování.

Nejčastěji se jedná o:

- redukci prášků po jejich výrobě rozprašováním vzduchem,
- sušení prášků po jejich výrobě rozprašováním vodou,
- prosévání a třídění prášků podle velikosti částic,
- míchání prášků podle žádaného složení výrobků,
- přidávání dalších složek podle zvláštních požadavků, například přidávání maziva pro zlepšení lisovatelnosti. [9]

Lisování prášků

Účelem lisování prášků je dosažení částečně zhutněného základního tvaru budoucího výrobku před jeho spékáním. Způsob lisování, druh lisovacích nástrojů a lisovací tlak závisejí na spékaném materiálu, rozměrech, tvaru a účelu výrobků. Tlaky se proto pohybují v širokém rozmezí od 200 do 2000 Mpa. [9]

4 SHRNU TÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části jsou zmíněny základní lokomoční pomůcky pro tělesně postižené, které jim umožňují žít plnohodnotným životem. Je uvedeno jejich základní rozdělení a využití. Dále úvod do teorie kovových materiálů, rozdělení kovových materiálů a popis jejich struktury. Také jsou zde popsány vybrané technologie pro zpracování kovových materiálů, z nichž největší pozornost je věnována svařování.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V teoretické části bakalářské práce byly shrnuty informace o kovových materiálech a také o zpracování těchto materiálů. V praktické části byl navržen aktivní vozík pro tělesně postižené z kovových materiálů. Tento návrh vozíku, nemá sloužit široké veřejnosti. Podle tohoto návrhu bude vyroben prototyp vozíku, který bude použit k testování navrženého designu. Bylo zvoleno modulární řešení konstrukce, tak aby se jednotlivé díly daly relativně jednoduše rozebrat, upravit a znovu sestavit. Návrh vycházel z designerské studie Trilobit. Tato studie se zabývá skloubením několika jednotlivých pomůcek pro sportovní využití osob s tělesným postižením do jediné multifunkční pomůcky. Toto řešení umožní tělesně postiženým aktivně sportovat, aniž by si musely pořizovat jednotlivé a finančně nákladné pomůcky každou zvlášť.



Obr. 27 Designová studie Trilobit

6 DESIGNOVÁ STUDIE TRILOBIT

Hlavní myšlenkou této designové studie Trilobit je skloubit vícero jednotlivých lokomočních pomůcek do jednoho multifunkčního zařízení, které umožní svému majiteli žít aktivním sportovním životem. Lokomoční pomůcky, které tato unikátní studie spojuje do jednoho zařízení jsou: aktivní vozík, handbike, in-line, sledge a monoski.

Handbike

Handbike je v podstatě kolo, které člověk pohání pomocí rukou. Toto speciálně zkonstruované kolo kompenzuje tělesné postižení člověka a umožňuje mu zúčastnit se aktivně cyklistického života. Pod označením handbike si také můžeme představit sport, který má své mistrovství světa, Evropy a je také k vidění na paralympijských hrách. Tento sport v dnešní době neprovozují jen tělesně postižení, ale také zdraví jedinci.



Obr. 28 Handbike

Sledge

Sledge hokej se dá volně přeložit jako hokej na sáňkách. Toto zařízení může připomínat sáňky, jen místo skluznic má ve spodní části připevněné nože. Hráči se po ledě pohybují pomocí dvojice krátkých hokejek, které mají na druhé straně bodce, které zapichují do ledu. Jako první v České republice se tento sport začal hrát ve Zlíně.



Obr. 29 sledge

Monoski

Monoski je zařízení, které postiženému jedinci umožňuje lyžovat. Skládá se z jedné silné lyže, na které je upevněna konstrukce na které sedí lyžař, monolyžař. Tato konstrukce je odpružena pomocí plynokapalinového tlumiče. Stabilitu monolyžař udržuje pomocí dvou hůlek, které mají na konci krátké lyžiny.



Obr.30 Monoski

Aktivní vozík

Aktivní vozík by se měl od klasického vozíku lišit svými technickými parametry. Hlavně hmotností a ovladatelností. Aktivní vozíky také mívají kola mírně pod úhlem. Velikost úhlu se mění v závislosti na typu sportu, pro který je určen.

In-line

In-line je v podstatě obdoba sledge s tím rozdílem, že místo připevněných nožů ve spodní části jsou kolečka.



Obr.31 In-line

7 NÁVRH KONSTRUKCE

Konstrukční návrh byl proveden v 3D programu Catia V5R18. CATIA (Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application) je integrovaný systém počítačového návrhu, konstruování a výroby (CAD/CAM/CAE), užívaný hlavně v leteckém a automobilovém průmyslu, ale je používán i výrobci lodí a pneumatik.[12]

7.1 3D sestava modelu

7.1.1 Prvotní návrh

Návrh modelu prošel několika vývojovými stupni. Na obrázku 27 je znázorněn prvotní návrh vozíku. Tento návrh bylo nutné přepracovat z důvodu nevhodně řešené spodní části, která by zabírala příliš mnoho prostoru mezi nohama člověka, který by na vozíku seděl. Dále bylo navrženo zjednodušení zadní části tak, aby byla co nejjednodušší z hlediska výroby.



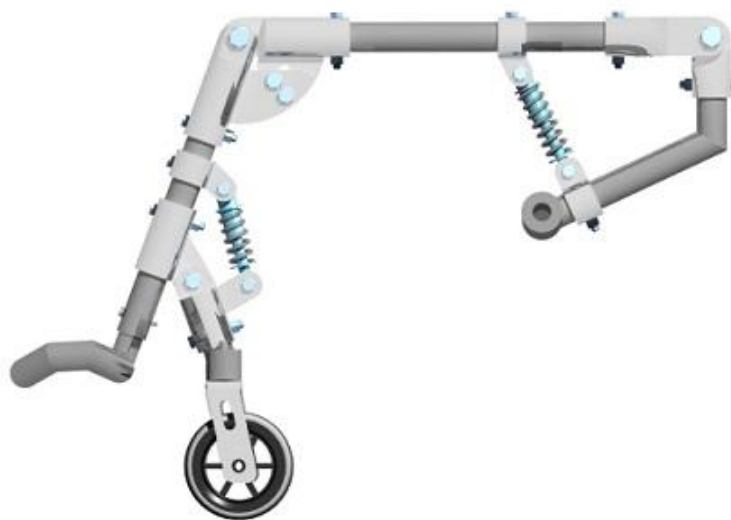
Obr. 32 Prvotní návrh

7.1.2 Finální návrh

Na obrázku 28 je znázorněn finální návrh vozíku. Byla přepracována spodní část. Oproti předchozímu návrhu, zde zajíždí trubky opory nohou do trubek, které tvoří rám. Proti vysunutí je opora nohou zajištěna dvojicí čepů. Dále byla zjednodušena zadní část vozíku. Upnutí tlumičů je řešeno pomocí objímek, které se stáhnou šroubem. Hlavní, středová trubka je na dvou místech ohnutá, aby bylo docíleno sklonu kol 4° .

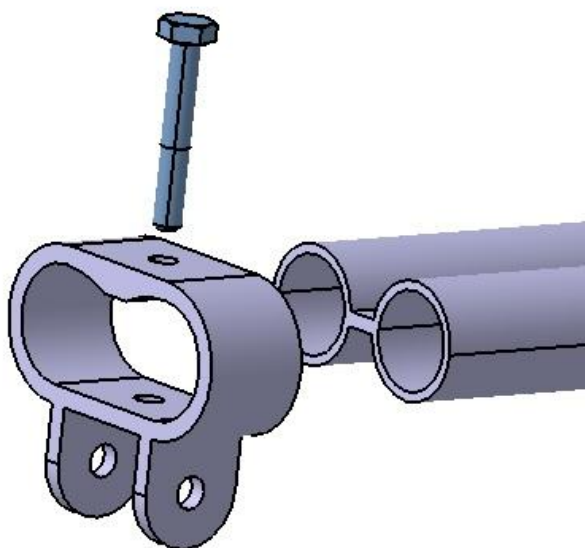


Obr. 33 Finální verze



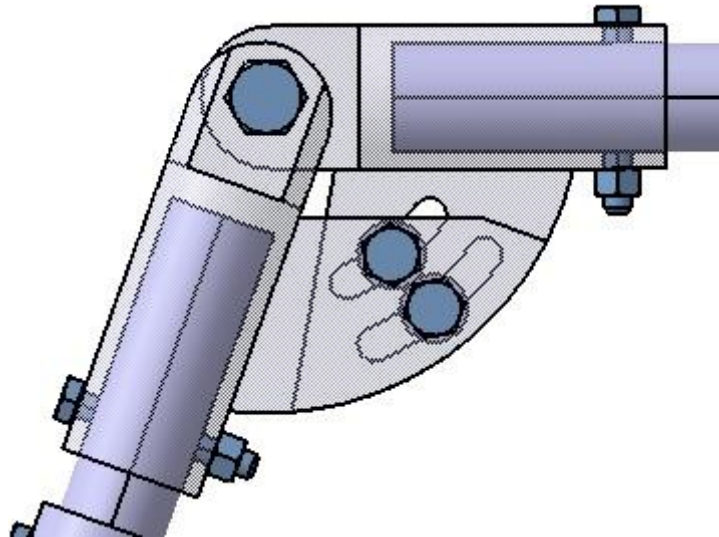
Obr. 34 Finální verze

Na obrázku 30 je znázorněn princip spojení spojovacích elementů s trubkami. Na podélně svařené trubce s plechem uprostřed se nasune spojovací element a pojistí se šroubem.



Obr. 35 Princip spojení

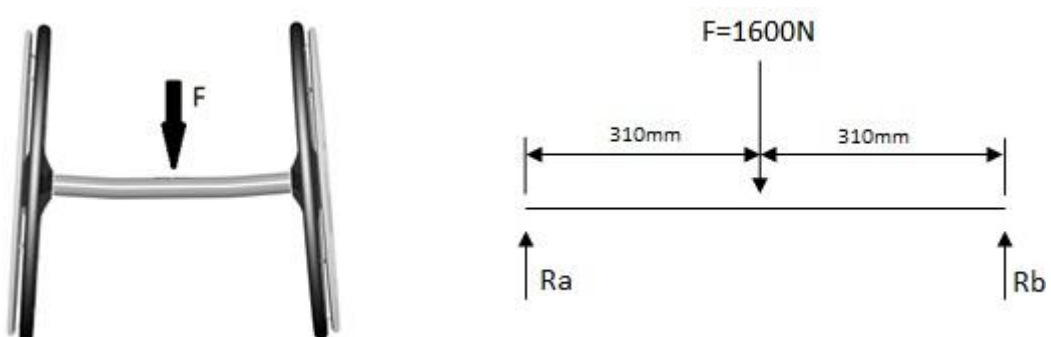
Přední část vozíku bylo nutné navrhnout úhlově stavitelnou, aby při testování vozíku bylo možno stanovit nejvhodnější úhel sklonu. Poloha se bude nastavovat pomocí dvou šroubů M10.



Obr. 36 princip spojení

7.2 Předběžné pevnostní výpočty

Vzhledem k charakteru výrobku, který není určen pro dlouhodobé používání, byly při konstrukci vozíku použity jen základní předběžné pevnostní výpočty.



Obr. 37 Výpočet

- Maximální ohybový moment

$$M_o = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{1600 \cdot 620}{4} = 248000 \text{ Nmm}$$

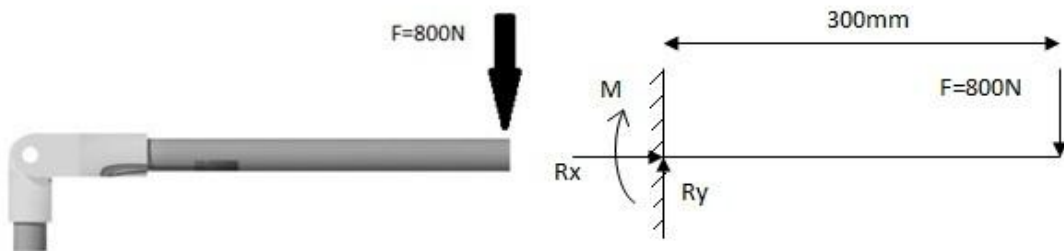
- Průřezový modul v ohybu

$$W_o = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{42,4^4 - 37,2^4}{42,4} = 3049 \text{ mm}^3$$

- Napětí v ohybu

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} = \frac{248000}{3049} = 81,33 \text{ MPa}$$

Dle výpočtů byla zvolena trubka o průměru 42,4 mm a tloušťce stěny 2,6mm.



Obr. 38 Výpočet

- Maximální ohybový moment

$$M_o = F \cdot l = 800 \cdot 300 = 240000 \text{ Nmm}$$

- Průřezový modul v ohybu

$$W_o = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{31,8^4 - 26,6^4}{31,8} = 1611 \text{ mm}^3$$

- Napětí v ohybu

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} = \frac{240000}{1611} = 148,9 \text{MPa}$$

- Napětí na jednu trubku

$$\frac{148,9}{n} = \frac{148,9}{2} = 74,45 \text{MPa}$$

Dle výpočtů byly zvoleny dvě trubky o průměru 31,8mm a tloušťce stěny 2,6mm.

8 MATERIÁL

Jako výchozí polotovar byly zvoleny ocelové trubky bezešvé, tvářené za tepla ČSN 42 5715.

Materiál trubek byl zvolen 11 523.

- Charakteristika oceli 11 523:

Tab. 3 Chemické složení oceli 11 523

Jakost	C	Si	Mn	P	S	N
11523	0,2	0,55	1,6	0,04	0,04	0,009

Tab. 4 Doporučené teploty pro ocel 11 523

Tepelné zpracování		
Normalizační žihání	870 - 900°C	Ochlazovat na vzduchu
Žihání na měkko	680 - 710°C	Zvolna ochlazovat
Žihání ke snížení pnutí	600 - 650°C	Zvolna ochlazovat
Popouštění	670 - 700 °C	Ochlazovat na vzduchu
Tvářitelnost	1 150 - 800°C	Třída tvářitelnosti za tepla 1

Tab. 5 Mechanické vlastnosti oceli 11 523

Mez pevnosti Rm (Mpa)	450 - 630
Mez kluzu ReH (Mpa) min	275

Jako materiál spojovacích elementů – „kloubů“ a objímek byl zvolen dural. Tento materiál se vyznačuje nízkou měrnou hmotností, která je téměř třikrát nižší než u oceli.

Materiál: CERTAL AlZn5Mg3Cu – EN AW 7022 – Tento materiál lze svařovat a je dobře obrobitelný. Mez pevnosti Rm 550 MPa.

9 SHRNU TÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI

V praktické části jsem navrhl prototyp aktivního vozíku, který vycházel z návrhu designéra Jana Školy, který je autorem designérského návrhu Trilobit. Tento návrh bude použit k odzkoušení designu a dalšímu vývoji vozíku. Bylo zvoleno modulární řešení konstrukce, z důvodu snadné montáže a demontáže jednotlivých součástí. Také jsem se snažil popsat designovou studii trilobit a všechny možnosti, které nabízí (aktivní vozík, handbike, monoski, in-line, sledge).

10 ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce byl konstrukční návrh prototypu aktivního vozíku pro tělesně postižené z kovových materiálů. Návrh vozíku vycházel z designerského návrhu studenta Fakulty multimediálních komunikací Jana Školy. Návrh bude použit pro odzkoušení navrženého designu.

Teoretická část je rozdělena na tři části. V první části, jsem se snažil naskytnout přehled kompenzačních pomůcek pro tělesně postižené. Výrobě těchto pomůcek se ovšem věnuje takové množství výrobců, že nikdy nebude možné obsáhnout je všechny a zařadit je do několika daných kategorií. V druhé části jsem se věnoval kovovým materiálům. Od základního přehledu kovových materiálů přes jejich strukturu až po jejich mechanické vlastnosti. V poslední části jsem se zabýval metodami zpracování kovových materiálů. Tady je nejvíce popsána část věnující se svařování.

V části praktické jsem řešil samotný konstrukční návrh v programu Catia. Zvolil jsem modulární řešení konstrukce tak, aby byla montáž a demontáž jednotlivých dílů co nejjednodušší. Byla vypracována výkresová dokumentace, která bude použita jako podklad pro výrobu navrženého vozíku. Navržený vozík bude sloužit pro potřeby Ústavu výrobního inženýrství UTB ve Zlíně při dalším vývoji vozíku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Kolářová B. *Kompenzační pomůcka jako prostředek zvýšení kvality života osob s tělesným postižením*, Bakalářská práce, FHS UTB 2008
- [2] *Výukový portál 1. Lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze* [online]. Dostupné z www: < <http://portal.lf1.cuni.cz/> >
- [3] Vágnerová M. *Psychopatologie pro pomáhající profese*, 2004.
ISBN 80-7178-802-3
- [4] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Dostupné z www: < http://cs.wikipedia.org/wiki/Lokomoce_%C4%8Dlov%C4%9Bka >
- [5] Dvořák R. *Základy kinezioterapie*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2003. ISBN 80-244-0609-8.
- [6] Vojtěch D.: *Kovové materiály*. 1. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. ISBN 80-7080-600-1
- [7] Machek, Sodomka, *Struktury kovových materiálů – Nauka o materiálu 1. část*, ČVUT v Praze - fakulta dopravní, Praha 2004
- [8] Katedra vozidel a motorů, Technická univerzita v Liberci [online] - < http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/uvod_do_strojirenstvi/UdS-5pr.pdf >
- [9] < <http://jhamernik.sweb.cz/Metalurgie.htm> > *Metalurgie (česky)*
- [10] Kubíček J. *Technologie svařování* [online]. ust.fme.vutbr.cz, 1994,
- [11] Filáková D. *Technologie pájení přetavením*, Bakalářská práce, FAI UTB 2010
- [12] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Dostupné z www: < <http://cs.wikipedia.org/wiki/CATIA> >.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PC	Osobní počítač
A	Tažnost
Z	Kontrakce
E	Modul pružnosti v tahu
S_0	Počáteční průřez
S_{min}	Nejmenší průřez po přetržení
L	Délka zkušební tyče
L_0	Počáteční délka zkušební tyče
L_{max}	Maximální délka tyče po přetržení
F	Síla
HV	Tvrдость dle Vickerse
Re	Mez pevnosti v kluzu
Re _H	Výrazná horní mez kluzu
Re _L	Výrazná dolní mez kluzu
Rm	Mez pevnosti v tahu
UV	Ultrafialové
ϵ	Relativní deformace materiálu
σ	Napětí
I	Proud
Q	Množství tepla
R	Odpor
MIG	Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu
MAG	Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu
WIG	Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu

M_o	Ohybový moment
W_o	Průřezový modul v ohybu
l	Délka
3D	Trojrozměrný prostor
π	Konstanta
ČSN	Česká státní norma

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 a) aktivní vozík b) sportovní vozík c) toaletní vozík</i>	14
<i>Obr. 2 a) berle předloketní b) chodítka pevné c) chodítka pojízdné</i>	15
<i>Obr. 3 Rozdělení kovových materiálů</i>	17
<i>Obr. 4 Iontová vazba NaCl</i>	18
<i>Obr. 5 Kovalentní vazba F</i>	19
<i>Obr. 6 Kovová vazba</i>	19
<i>Obr. 7 Struktura krystalického a amorfního materiálu</i>	20
<i>Obr. 8 Druhy elementárních buněk</i>	21
<i>Obr. 9 poruchy krystalové mřížky</i>	22
<i>Obr. 10 a) Hranová dislokace, b) šroubová</i>	23
<i>Obr. 11 Schéma koherentního (a), semikoherentního (b) a nekoherentního</i>	24
<i>Obr. 12 Tahové diagramy kovových materiálů</i>	26
<i>Obr. 13 Vzájemné posunutí (skluz) dvou částí krystalu</i>	27
<i>Obr. 14 Skluzové systémy u krystalové struktury kubické plošně centrované</i>	28
<i>Obr. 15 Odečtení základních mechanických vlastností</i>	30
<i>Obr. 17 Princip svařování metodou WIG</i>	38
<i>Obr. 18 Princip svařování metodou MIG/MAG</i>	40
<i>Obr. 19 a) Princip svařování svazkem elektronů</i>	41
<i>Obr. 20 Princip svařování el. odporem</i>	42
<i>Obr. 21 Druhy odporového svařování</i>	43
<i>Obr. 22 Kovy, které je možno pájet</i>	45
<i>Obr. 23 Závislost mech. vlastností ocelí</i>	47
<i>Obr. 24 Princip</i>	48
<i>Obr. 25 Válcování trubek</i>	48
<i>Obr. 26 a) kontinuální lití pásu, b) gravitační lití, c) odstředivé lití, d) tlakové lití</i>	50
<i>Obr. 27 Designová studie Trilobit</i>	55
<i>Obr. 28 Handbike</i>	56
<i>Obr. 29 sledge</i>	56
<i>Obr.30 Monoski</i>	57
<i>Obr.31 In-line</i>	57
<i>Obr. 32 Prvotní návrh</i>	58

<i>Obr. 33</i> Finální verze	59
<i>Obr. 34</i> Finální verze	60
<i>Obr. 35</i> Princip spojení	60
<i>Obr. 36</i> princip spojení	61
<i>Obr. 37</i> Výpočet	61
<i>Obr. 38</i> Výpočet	62

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 <i>Ilustrativní hodnoty modulu pružnosti v tahu</i>	24
Tab. 2 <i>Tvrdość HV vybraných materiálů</i>	24
Tab. 3 <i>Chemické složení oceli 11 523</i>	53
Tab. 4 <i>Doporučené teploty pro ocel 11 523</i>	53
Tab. 5 <i>Mechanické vlastnosti oceli 11 523</i>	53

SEZNAM PŘÍLOH

- PI CD disk obsahující - Výkresy ve formátu .pdf a ve formátu CATIA Drawing
- Bakalářskou práci ve formátu .pdf
 - Obrázky modelu sestavy
- PII Výrobní výkresy součástí