

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava



TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCÍ

učební text

**Ivo Hlavatý
Jiří Hrubý**

Ostrava 2012

Recenze: prof. Ing. Jiří Petruželka, CSc.

Název: Technologičnost konstrukcí
Autor: Ivo Hlavatý, Jiří Hrubý
Vydání: první, 2012
Počet stran: 125
Náklad: 50
Vydavatel a tisk: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Jazyková korektura: nebyla provedena.

Určeno pro projekt:

Operační program Vzdělávání pro konkurenceschopnost

Název: Zvyšování kompetencí studentů technických oborů prostřednictvím modulární inovace studijních programů

Číslo: CZ.1.07/2.2.00/15.0459

Realizace: VŠB – Technická univerzita Ostrava

Projekt je spolufinancován z prostředků ESF a státního rozpočtu ČR

© Ivo Hlavatý, Jiří Hrubý

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-2772-8

Obsah:

Předmluva.....	5
1 Systém řízení a hodnocení technologičnosti konstrukce v technické přípravě výroby	9
1.1 Úvod.....	9
1.2 Základní problémy technické přípravy výroby	9
1.3 Rámcová metodika konstruování	11
1.4 Technologická příprava výroby.....	12
2 Materiálové aspekty technologičnosti konstrukce.....	14
2.1 Úvod.....	14
2.2 Modely fyzikálních a mechanických vlastností.....	14
2.3 Materiály na odlitky	15
2.4 Materiály na výkovky, objemové a plošné výlisky	16
2.5 Svařitelnost konstrukčních materiálů	17
2.6 Obrobitelnost materiálů	18
3 Technologičnost konstrukce výkovků.....	20
3.1 Úvod.....	20
3.2 Zápustkové kování	20
3.3 Metody predikce životnosti tvářecích nástrojů.....	22
3.4 Analýza technologičnosti konstrukce výkovku.....	25
3.5 Úloha konstrukce a technologického postupu výkovku	26
4 Technologičnost konstrukce objemových výlisků	37
4.1 Úvod.....	37
4.2 Objemové tváření za studena.....	37
4.3 Metody predikce životnosti tvářecích nástrojů.....	39
4.4 Analýza technologičnosti konstrukce tvářecího nástroje	39
5 Technologičnost konstrukce plošných výlisků.....	42
5.1 Úvod.....	42
5.2 Plošné tváření	43
5.3 Stříhání a vystřihování.....	43
5.4 Ohýbání plechu.....	44
5.5 Tažení plechu	46
5.6 Technickoekonomická analýza plošných výlisků	48
5.7 Metody predikce životnosti tvářecích nástrojů.....	49
Literatura ke kapitolám 1 až 5	50
Otázky testů ke kapitolám 1 až 5:	51
6 Ocelové konstrukce	53
6.1 Úvod.....	53
6.2 Základní problémy	53
6.3 Metodika konstruování.....	54
6.4 Technologická příprava výroby – principy návrhu konstrukcí.....	57

7	Svarové plochy pro ocelové konstrukce	62
7.1	Základní problémy	62
7.2	Metodika konstruování.....	63
7.3	Technologická příprava výroby – hlavní rozměry svarů	65
8	Výpočty svarových spojů	68
8.1	Úvod	68
8.2	Statické namáhání.....	68
8.3	Tupé svary	69
8.4	Koutové svary.....	72
8.5	Bodové (odporové) svary	75
8.6	Dynamicky namáhané konstrukce.....	76
8.7	Aplikace výpočtů pomocí metody konečných prvků	78
9	Konstrukce betonářských výztuží.....	82
9.1	Základní problémy	82
9.2	Metodika a podmínky aplikace betonářských výztuží	82
9.3	Technologická příprava výroby – principy návrhu konstrukcí.....	85
10	Tlakové nádoby	90
10.1	Tlakové nádoby	90
10.2	Normy a předpisy pro výrobu tlakových nádob	93
10.3	Materiály tlakových nádob	94
10.4	Technologičnost konstruování.....	95
10.5	Metody svařování tlakových nádob.....	96
11	Svařované hliníkové konstrukce.....	97
11.1	Úvod.....	97
11.2	Základní vlastnosti hliníku a hliníkových slitin [41].....	97
11.3	Technologie svařování použitelné pro výrobu konstrukce.....	99
11.4	Příklady reálných aplikací v praxi	100
11.5	Normy a předpisy	102
11.6	Problémy při výrobě zadaných konstrukcí, příp. návrh alternativního řešení	103
11.7	Vady svarových spojů hliníkových konstrukcí	106
12	Konstrukce z plastů	108
12.1	Úvod.....	108
12.2	Rozdělení plastů	108
12.3	Metody svařování plastů.....	109
12.4	Svarové plochy	111
12.5	Reálné aplikace svařovaných platových dílů.....	111
13	Konstrukce z různorodých materiálů spojované lepením a speciálními postupy svařování ...	114
13.1	Základní problémy	114
13.2	Metodika a podmínky použití lepených spojů.....	114
13.3	Technologická příprava výroby – lepené spoje.....	116
	Literatura ke kapitolám 6 až 13	120
	Otázky testů ke kapitolám 6 až 13:.....	124

Předmluva

Technologický návrh tvoří základ přípravy výroby, kde jsou materiál a technologie jeho zpracování navrhovány pro konkrétní účel charakterizovaný provozními parametry navrhované konstrukce. Obecné i specifické požadavky, kladené na navrhovanou konstrukci, jsou dány hodnotami a způsoby zatížení, prostředím, ve kterém pracuje a délkou její funkční expozice. Jejich plnění determinuje volbu materiálu, technologií jeho zpracování a úpravou jeho vlastností do finálního stavu před provozem. Současně je spolehlivost konstrukce vázána na degradaci těchto vlastností pod provozním zatížením v cílovém pracovním prostředí. Základním principem technologického návrhu je technologičnost konstrukce. Životnost zařízení tvoří klíčový problém ve strojírenské výrobě. Nové metody odhadu životnosti, snižování spotřeby materiálu a energie založené na analýze výrobních procesů metodou konečných prvků jsou pak důležitými parametry výuky modulu technologičnost konstrukce.

Studijní modul - předmět

Předmět Technologičnost konstrukce je vyučován v navazujícím magisterském studiu v oboru Strojírenská technologie Fakulty strojní Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava. Pro studium je vytvořena integrovaná učební opora, kterou tvoří předkládaný integrovaný studijní text, který je v e-learningové aplikaci Moodle uveden v podobě jednotlivých kapitol a doplněn multimediálními moduly, tematickými úlohami, kontrolními otázkami a testy. Výuka předmětu je v přednáškách a cvičeních daného předmětu postavena na obecných teoretických principech technologičnosti konstrukce, konkrétně je zaměřena na dvě skupiny výrobních technologií. Kapitoly 1 až 5 (autor: Jiří Hrubý) jsou určeny pro skupinu technologií tváření. Kapitoly 6 až 13 (autor: Ivo Hlavatý) jsou pak zaměřeny na technologie spojování: svařování, lepení atd.

Cíl předmětu

Cílem předmětu je seznámit s teoretickými základy konstrukčního řešení a technologie výroby stroje, představit systém řízení a hodnocení technologičnosti konstrukce v technické přípravě výroby. Absolvent tohoto předmětu získá schopnost rozumět principům konstruování a interpretovat základní pojmy technologičnosti konstrukce. Dále bude schopen popsat a analyzovat zatížení nástrojů a zařízení. V neposlední řadě bude schopen interpretovat podmínky životnosti a kvalitativní parametry výrobků.



Průvodce studiem

Celá látka studijního modulu je rozdělena do třinácti tematických kapitol. Základem studia je vždy text kapitoly obsažený v předkládaném studijním materiálu, v jednotlivých kapitolách e-learningového systému, kde je doplněn dalšími multimediálními moduly (prezentace, animace, videa). Obě tematické části předmětu jsou doplněny seznamem použité literatury, kontrolními otázkami a tematickou úlohou, nebo semestrální prací.



Struktura integrované studijní opory Technologičnost konstrukce

Struktura všech oddílů respektuje časový sled týdnů výuky v semestru, řazení tematických částí je voleno dle aktuálních podmínek daného akademického roku a formy studia. Multimédia jsou aplikována ve formátech WMV, popř. PDF, dále MPG nebo MP4. Lze je přehrávat a ovládat jejich chod v systémových nebo dostupných aplikacích.

	Text kapitoly nebo zadání:	Multimédia k tématu, rozhraní Moodle:
1	Systém řízení a hodnocení technologičnosti konstrukce v technické přípravě výroby	
	Text kapitoly 1 (pdf)	○ Systém řízení, hodnocení a materiálové aspekty TEK (wmv)
Zadání případové úlohy tváření		
	Návrh konstrukce a technologického postupu výkovku (pdf)	○ Technologičnost konstrukce výkovku – případová úloha (wmv)
2	Materiálové aspekty technologičnosti konstrukce	
	Text kapitoly 2 (pdf)	○ Systém řízení, hodnocení a materiálové aspekty TEK (wmv)
3	Technologičnost konstrukce výkovků	
	Text kapitoly 3 (pdf)	○ Predikce životnosti tvářecích nástrojů (wmv) ○ Postup analýzy technologičnosti konstrukce výkovku (wmv) ○ Analýza životnosti zápustek (wmv)
4	Technologičnost konstrukce objemových výlisků	
	Text kapitoly 4 (pdf)	○ Technologičnost konstrukce v objemovém tváření (wmv)
5	Technologičnost konstrukce plošných výlisků	
	Text kapitoly 5 (pdf)	○ Technologičnost konstrukce v plošném tváření (wmv)
Závěr části tváření:		
	Literatura ke kapitolám 1 až 5 (pdf)	Otázky testů ke kapitolám 1 až 5 (pdf)
Řešení úlohy tváření		
		○ Animace řešení úlohy (wmv) ○ Pracovní sešit analýzy výkovku (xls) ○ Odevzdání zpracované úlohy tváření

6	Ocelové konstrukce	
	Text kapitoly 6 (pdf)	○ Základy značení svarů. Svařované konstrukce (pdf)
<i>Zadání seminárních úloh svařování</i>		
	Témata zadání seminárních prací (pdf)	
7	Svarové plochy pro ocelové konstrukce	
	Text kapitoly 7 (pdf)	○ Příprava svarových ploch (pdf)
8	Výpočty svarových spojů	
	Text kapitoly 8 (pdf)	○ Výpočty svarových spojů (pdf)
9	Konstrukce betonářských výztuží	
	Text kapitoly 9 (pdf)	○ Ocelové konstrukce z betonářských výztuží (pdf)
10	Tlakové nádoby	
	Text kapitoly 10 (pdf)	○ Tlakové nádoby JE Temelín (pdf)
11	Svařované hliníkové konstrukce	
	Text kapitoly 11 (pdf)	○ Hliník a jeho slitiny. Konstrukce z hliníku (pdf) ○ Výměník z hliníku – pájení (wmv) ○ Oprava hliníkové konstrukce (wmv)
12	Konstrukce z plastů	
	Text kapitoly 12 (pdf)	○ Svařované konstrukce z plastů (pdf)
13	Konstrukce z různorodých materiálů spojované lepením a speciálními postupy svařování	
	Text kapitoly 13 (pdf)	○ Automobilní návar – MATIC (mpg) ○ Elektro různorodé plošné spoje – laserové pájení (mp4) ○ Konstrukce spojů Cu a Al (wmv) ○ Spoje různorodých materiálů trubek – Cu a Al (wmv) ○ Konstrukce autodílů – vícebodové svařování (mpg)
Závěr části svařování:		
	Literatura ke kapitolám 6 až 13 (pdf)	Otázky testů ke kapitolám 6 až 13 (pdf)

Řešení úloh svařování		
		○ Odevzdání zpracované úlohy svařování
Ověření získaných znalostí		
	Testy k tematice tváření	Testy k tematice svařování

Pokyny ke studiu



Cíl: Po absolvování této KAPITOLY budete umět

V úvodu každé kapitoly jsou uvedeny cíle, kterých byste měli dosáhnout po jejím prostudování – konkrétní schopnosti a dovednosti.



Výklad

Následuje přehledný a ucelený výklad předmětné problematiky, postulování příslušných pojmů, jejich vysvětlení a doplnění příklady. K opakování látky, resp. k jejímu ozřejmění slouží příslušné prezentace, animované postupy nebo videa se záznamem jednotlivých výrobních procesů nebo tematických celků. Skupiny kapitol tváření i svařování jsou doplněny přehledem použité literatury a odkazy na doporučené prameny k dalšímu studiu.



Úkol k řešení

V obou tematických skupinách předmětu je k praktickému procvičení zadán vždy jeden úkol k řešení. Pro oblast tváření je realizována případová úloha úspor výrobních nákladů. V části svařování se zpracovává seminární práce na individuálně zadané téma. Výsledky, jejichž forma je popsána v zadání, budou odevzdávány v elektronické podobě v prostředí aplikace Moodle.



Kontrolní otázky

Kapitoly v závěru jejich výkladové části obsahují kontrolní otázky. Každá tematická skupina kapitol obsahuje seznam všech otázek dané technologické skupiny, a které jsou základem kontrolních testů.

1 Systém řízení a hodnocení technologičnosti konstrukce v technické přípravě výroby

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět: • identifikovat jednotlivé pojmy technologičnosti konstrukce. • Získáte informace o principech konstruování a technologické přípravě výroby.	Budete umět
Budete schopni: • orientovat se v cyklech technické přípravy výroby.	Budete schopni



Výklad

1.1 Úvod

Za technologickou konstrukci stroje považujeme takové provedení, které splňuje základní požadavky týkající se jeho funkce (výrobnost, ekonomika, efektivnost apod.) a současně splňuje požadavky z hlediska jeho výroby (malá hmotnost, malé náklady na výrobu při stále velikosti produkce, výběr nejvhodnějších materiálů) a jeho použití (spolehlivost, snadná opravitelnost a ovládání) atd. Je nutné pozorně promýšlet souvislosti a vazby mezi jednotlivými teoretickými poznatky, konstrukčními a technologickými principy. [1]

1.2 Základní problémy technické přípravy výroby

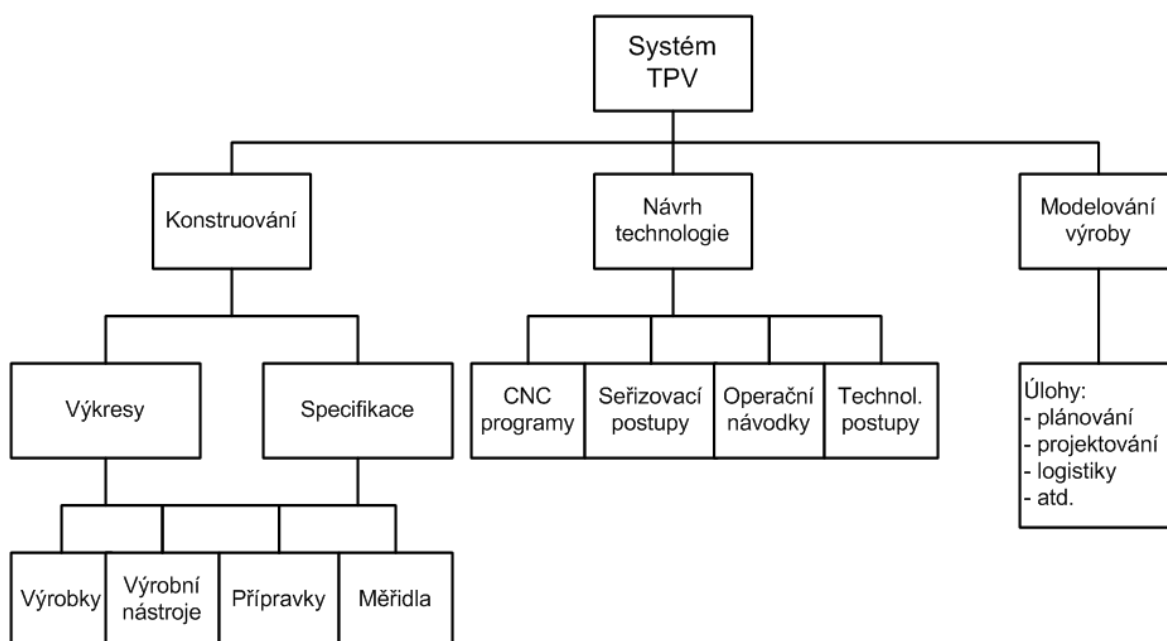
Abychom získali co nejlepší výsledky při tvorbě nové techniky, je nutné vypracovat takovou koncepci konstruování, která bude užitečná jak při navrhování nových projektů a jejich kritické analýze, tak i při výchově mladých konstruktérů. Metodika konstruování, stejně jako každá jiná metodika, vyžaduje dekompozici daného složitého technického úkolu na dílčí úlohy, které lze rozdělit na dvě skupiny [1]:

- dynamické úlohy**, vycházející z přání zákazníka, např. ovlivňující činnost stroje, používanou energii, kontrolu činnosti, vyměnitelnost součástí, životnost spolehlivost, hmotnost, způsob dopravy apod.
- výrobní úlohy**, které vycházejí z technologických možností strojového parku ve výrobním závodě, druhů materiálů, vyžadované přesnosti výroby atd.

rozbor kladů a nedostatků, objasnit tendence vývoje v daném oboru průmyslu. Nutno brát zřetel na konkrétní podmínky při používání stroje, na možnosti vazby na přídavná zařízení [1].

1.3 Rámcová metodika konstruování

Proces konstruování se skládá ze dvou etap: koncepční a pracovní. V etapě koncipování se zpracovávají výchozí podklady, informace, vytváří se celkový projekt stroje, zařízení apod. (často v několika variantách). Na základě analýzy koncepce je nutné zpracovat pracovní návrh. V obou etapách jsou problémy související s technologičností konstrukce. Obrázek 1-1 znázorňuje schéma intuitivních a rutinních, koncepčních a pracovních činností v procesu konstruování. Obrázek 1-2 specifikuje rozdělení úloh konstrukce a technologie v subsystému technické přípravy výroby [3].



Obrázek 1-2: Systém technické přípravy výroby [3].

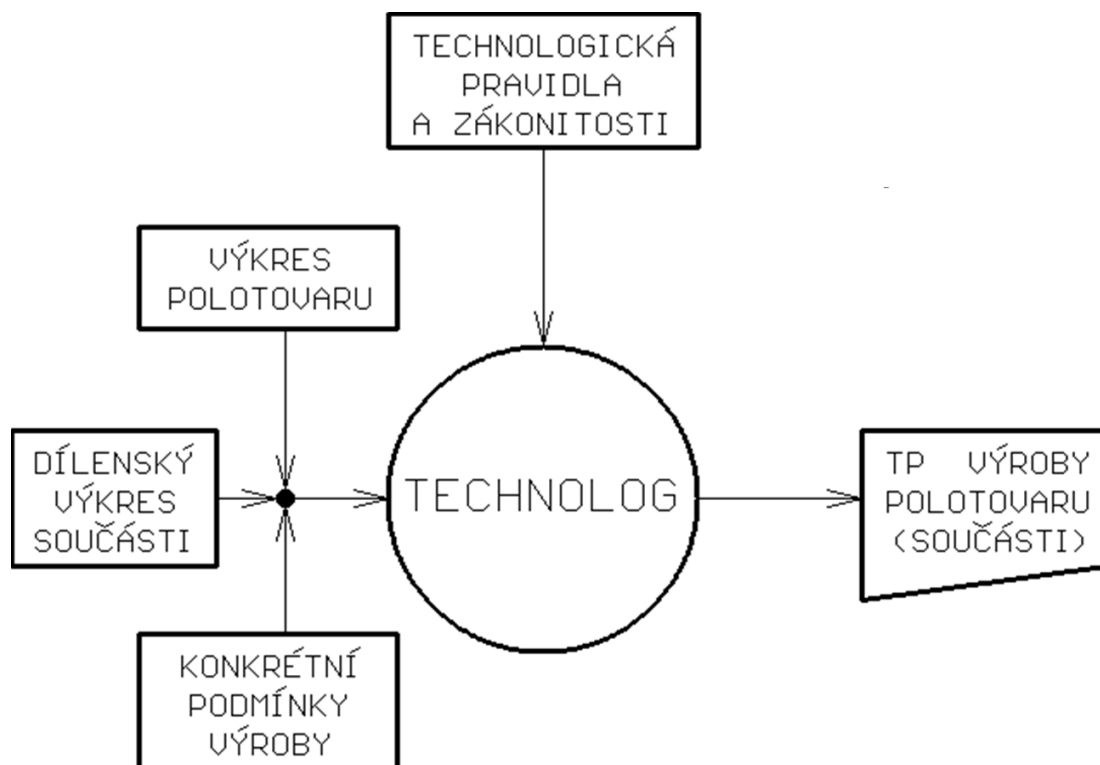
Metodika správného konstruování, dodržování principů technologičnosti konstrukce sleduje základní směry činností [1]:

- ❖ Snižování hmotnosti a zmenšování rozměrů stroje, zařízení,
 - racionální průřezy
 - struktura systému
 - používání materiálů vysoké pevnosti
 - zvyšování hranice únavové pevnosti
- ❖ Typizace, unifikace a normalizace skupin a součástí
 - využívání unifikovaných a normalizovaných skupin
 - tvorba parametrických řad
 - řady vyvolených čísel
 - stupeň normalizace výrobků

- ❖ Výběr nejvhodnějšího materiálu, polotovaru a technologie
 - odlitek nebo výkovek
 - odlitek nebo výlisek z plechu
 - odlitek, svařovaný nebo lisovaný polotovar
 - výkovky nebo výlisky
 - odlitky, výkovky nebo výlisky ze spěkaných materiálů
 - odlitky nebo obrobky
 - výlisky nebo obrobky
 - odlitky nebo výlisky z plastů
 - ekonomická analýza při výběru materiálu a technologie
- ❖ Automatizace projektování a využitím výpočetní techniky

1.4 Technologická příprava výroby

Jde o jednu z nejnáročnějších etap v přípravné fázi výrobního procesu. Technolog při navrhování technologických postupů výroby zpracovává značné množství informací, které čerpá z dílenského výkresu součásti a z konkrétních podmínek výroby, v nichž lze vyrábět. Soubor informací zpracovává na základě přesných a předem známých technologických pravidel a zákonitostí, získaných exaktními metodami a mnohaletou praxí během vývoje strojírenské technologie. Částečné a vzájemně související výsledky popsané činnosti sestavuje technolog do určité posloupnosti, která je technologickým postupem výroby. Tok informací v procesu technologické přípravy výroby znázorňuje (obrázek 1-3) [3].



Obrázek 1-3: Subsystem technologické přípravy výroby [3].

Technicko-ekonomická analýza výrobků vychází obvykle z relace hmotnosti polotovaru a jeho ceny, mzdových a provozních nákladů spolu s dobou výrobních cyklů, investičními náklady vybavení a velikostí zpracovávané série. Schopnost hodnocení nákladové náročnosti různých výrobních metod z hlediska spotřeby materiálu, nástrojů, času a energie tvoří stěžejní linii technologičnosti konstrukce. Růst velikosti produkce a její kvality představuje růst nákladů na výrobní techniku a aplikace metod změn konstrukce výrobku a nástrojů pak představuje cestu snižování spotřeby materiálových a energetických zdrojů.



Shrnutí kapitoly

Výsledkem studia této kapitoly by měl být základní přehled fungování systému technické přípravy výroby, uvědomění si všech činností a vazeb mezi nimi včetně orientace v začlenění do cyklických postupů výrobního procesu.



Kontrolní otázky

1. Čím je charakterizována technologická konstrukce?
2. Popište rozdělení základních skupin úloh metodiky konstruování.
3. Které skupiny činností se podílí na řešení konstrukční úlohy?
4. Sestavte hlavní části tvořící systém technické přípravy výroby.
5. Definujte hlavní principy technologičnosti konstrukce.
6. Sestavte základní algoritmus technologické přípravy výroby.

2 Materiálové aspekty technologičnosti konstrukce

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- identifikovat vazby strukturálních a mechanických vlastností k jednotlivým skupinám výrobních technologií.
- Získáte informace o schopnostech materiálů vyhovět podmínkám výrobních technologií pro požadované konstrukce.

Budete umět

Budete schopni:

- orientovat se v možnostech predikce strukturálních a mechanických vlastností.

Budete schopni



Výklad

2.1 Úvod

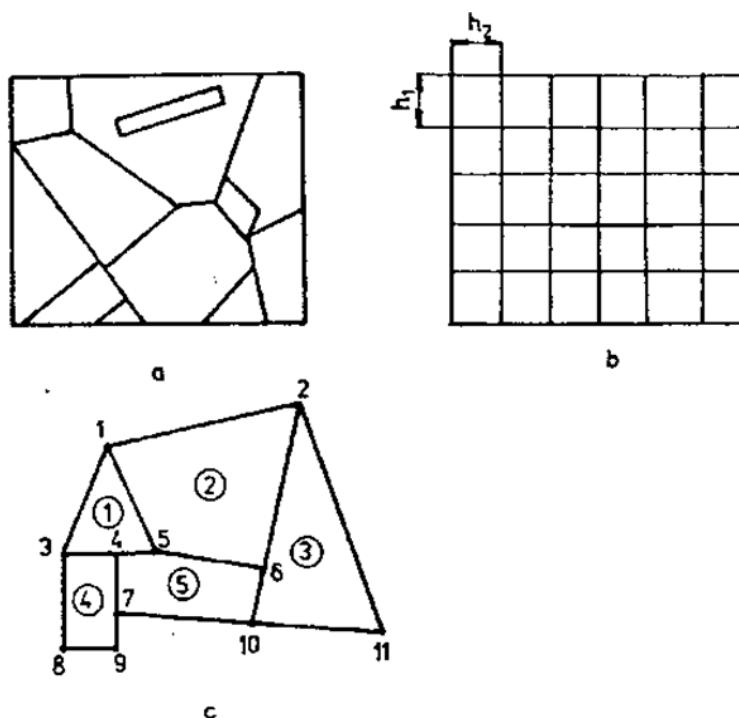
Fyzikální a mechanické vlastnosti těles (součástí) vyjádříme maticí, v níž jsou v dohodnutém pořadí uvedeny číselné hodnoty veličin ve zvolených jednotkách a číselné kódy nenumerických vlastností. Chemické složení materiálu je vlastnost, vyjadřovaná chemickou značkou prvku nebo sloučeniny a procentuálním zastoupením v roztoku, struktuře, slitině. Mechanické a fyzikální vlastnosti tělesa jsou strukturálně a kvalitativně velmi různorodé a převážně závisí na charakteru výrobního procesu a provozní expozice, pro něž je materiál vybírán [2]. Pro variabilitu výrobních technologií je důležité tvůrčím způsobem aplikovat poznatky v oblasti schopností materiálu vyhovět podmínkám konkrétních procesů a požadavkům na stabilitu vlastností konstrukce v čase.

2.2 Modely fyzikálních a mechanických vlastností

Příkladem modelu materiálových vlastností součásti je určení materiálu pomocí čísla nebo kódu normy. Pro účely konstrukce strojů a zařízení a jejich výrobu jsou nejčastěji smluvní mez pevnosti a kluzu, tažnost, kontrakce, tvrdost, lomová houževnatost, moduly pružnosti, Poissonovo číslo atd. Pro účely výrobních procesů je nutno znát další vlastnosti: matice teplotně závislých veličin souvisejících s procesy tepelného zpracování a konstitutivní matice pro tepelně-mechanické procesy. Někdy jsou tyto matice nahrazeny aproximativními funkcemi, např. pro výpočet přetvárného odporu [7]:

$$\sigma = C \cdot \exp(-m_1 T) \cdot \varepsilon^{m_2} \cdot \dot{\varepsilon}^{m_3}, \quad (2-1)$$

kde σ – přetvárný odpor,
 ε – efektivní deformace,
 $\dot{\varepsilon}$ – efektivní rychlost deformace,
 C – konstanta pevnosti,
 m_1 – teplotní koeficient,
 m_2 – exponent zpevnění,
 m_3 – koeficient deformační rychlosti.



Obrázek 2-1: Modely identifikace strukturální nehomogenity materiálu [2].

Nehomogenitu kontinua je nutno brát v úvahu při konstrukci i výrobě součástí. Jde obvykle o vlastnosti související se strukturální nehomogenitou některých materiálů, zejména kovů a jejich slitin. Zpravidla lze nehomogenní kontinuum rozdělit sítí na elementy (obrázek 2-1: a – nehomogenní struktura, b – homogenní část, c – identifikační matice). Identifikační matice pak obsahuje rozměry prvků, umístění v síti a matici vlastností. Podobně jako lze vytvořit modely stavových vlastností prvků kontinua, lze vytvořit model jejich vzájemných vztahů a vazeb, např. soudržnost, vzájemná rychlost, součinitel vnitřního tření (souborná matice tuhosti). Pomocí modelů nehomogenního kontinua lze vyjádřit i několik vzájemně se dotýkajících objektů, např. ložisko, olejový film, nástroj-materiál-kontaktní plocha atd [2].

2.3 Materiály na odlitky

Materiály na odlitky se volí na základě mechanických, fyzikálních, chemických a technologických vlastností a na základě ceny. Vlastnosti šedé a bílé litiny jsou dány chemickým složením, tvorba grafitu ve stabilní a cementitu v metastabilní soustavě tuhnutí. Má velkou zabíhavost při uspokojivé pevnosti, negativem je křehkost, pozitivem poměrně vysoký součinitel útlumu vibrací a slušná odolnost proti otěru, dobré kluzné vlastnosti. Tvárná litina se sférickým grafitem je perlitická nebo feritická. Má pozitiva šedé litiny při

vyšší tvárnosti. *Speciální litiny* jsou pro podmínky suchého tření (důlní a dobývací stroje) a pro podmínky tření s mazáním (vodící lišty, vložky válců), litiny pro vysoké teploty a litiny odolné proti korozi. *Temperovaná litina* se získává žháním bílé litiny. Používají se pro tlumení kmitů, na malé tenkostěnné odlitky [5].

Uhlíkové oceli na odlitky: nelegované, nízkolegované, středně a vysoko legované. Používají se pro výrobu odlitků, jejichž mechanické vlastnosti se mají přiblížit tvárným a válcovaným ocelím, zemní stroje, mlýny velké rotující dílce. Obvykle vyžadují normalizační žhání. Pozitivem je schopnost legovaných uhlíkových ocelí k hlubokému prokalení. *Žáropevné a žáruvzdorné oceli* se používají ve spalovacích motorech a výrobních strojích pracujících za vyšších teplot. *Ocelolitiny odolné proti korozi* mají nejnížší obsah chromu 12,5%, reprezentantem je chromniklová austenitická ocelolitina. *Otěruvzdorné oceli* mají význam pro konstrukci zařízení hutního, keramického a petrochemického průmyslu. Nejznámějším reprezentantem je tzv. „Hadfieldova“ ocel, kde vlivem lokálního tlaku nastává povrchové zpevnění polotovaru [5].

Lehké slitiny: slitiny hliníku, hořčíku, titanu v leteckém a automobilovém průmyslu. Slitiny mědi a zinku pro výrobu různých typů ložisek a výrobních zařízení (krystalizátorů, kokil apod.) a zařízení vystavených atmosférickým a korozním vlivům [5].

2.4 Materiály na výkovky, objemové a plošné výlisky

Obecně rozlišujeme podle podmínek tvářecích procesů materiály vhodné pro objemové tváření za studena, pro objemové tváření za tepla a materiály pro lisování plechu, kde dále rozlišujeme materiály pro tažení, pro ohýbání a pro stříhání plechu. Kovy s dobrou plasticitou mají poměr $Re/Rm < 0,65$ [4].

Materiály pro objemové tváření za studena. Teoreticky lze protlačovat všechny slitiny ocelí i neželezných kovů. Tato možnost je však v praxi značně omezena potřebnými protlačovacími silami, zatěžujícími pracovní nástroj i příslušný tvářecí stroj. Dále je omezena strukturou, chemickými i mechanickými vlastnostmi použitých materiálů. Oceli pro objemové tváření za studena jsou zpravidla nejvhodnější ve stavu žháném na měkko, struktura feriticko-perlitická, přičemž perlit by měl být globulární. Průměrná velikost zrna se doporučuje 5 až 8. Vhodné struktury lze dosáhnout kombinovaným žháním, tj. normalizačním žháním na zrovnoměnění zrna s následujícím žháním na měkko za účelem dosažení nejnížší tvrdosti a nejvyšší tvárnosti. Z hlediska plasticity jsou nejvhodnější oceli s nejnížší mezí kluzu, nejvyšší tažností a s poměrem meze kluzu k mezi pevnosti v rozmezí 0,5 až 0,6 [4].

Chemické složení ocelí se doporučuje s nízkým obsahem uhlíku, s minimálním obsahem fosforu a síry a s minimálním výskytem staženin, vycezenin a nekovových vměstků. Neželezné kovy vykazují v čisté formě většinou velmi dobré plastické vlastnosti. Slitiny mají nižší tvárnost, některé značně zpevňují. Při objemovém tváření neželezných kovů za studena jsou potřebné energosilové parametry mnohem nižší než u ocelí. U některých nízko tavitelných kovů, např. u olova a cínu, leží rekrystalizační teploty v oblasti pokojových teplot, nedochází tak prakticky ke zpevnění při tváření za studena. Čistý hliník se pro svou značnou plasticitu používá velmi často. Obecně je však při tváření za studena neželezných kovů s vyšším stupněm deformace třeba obvykle začlenit do postupu rekrystalizačního žhání [4].

Slitiny hliníku s Cu a Mg jsou tvárné, přičemž obsah legujících složek zvyšuje jejich pevnost, to však vede k růstu měrných tvářecích sil. Z řady druhů bronzů lze za studena tvářet bronz

cínový a hliníkový, lité bronzy nejsou vhodné pro tváření za studena. Mosazi jsou vhodné pro tváření za studena s minimálním obsahem mědi 63%. Protlačování mosazi vyžaduje vysoké tlaky, často překračující mez dovoleného namáhání nástrojů. Předchozí doporučení je nutno brát jen jako směrná, protože výchozí materiál je dán specifickými podmínkami, které závisí na funkci výrobku, jeho životnosti, počtu vyráběných kusů apod. [4].

Materiály pro objemové tváření za tepla. Tváření za tepla se provádí za teploty dostatečně vyšší než je teplota rekrystalizační (100 až 150 °C pod teplotou tavení). Pro výběr materiálu je v tomto případě důležitá rekrystalizační rychlost, která v poměru k deformační rychlosti významně ovlivňuje tvařitelnost. Velikost deformace je dalším rozhodujícím činitelem, neboť malý stupeň deformace vede zpravidla ke kritickému růstu zrna a tím ke vzniku značného napětí mezi jednotlivými strukturními částicemi. Způsob ohřevu je u ocelí klíčový z hlediska vzniku okujů a ovlivnění chemického složení z hlediska nauhličení, vzniku karbidických vměstků, to vede zpravidla k poklesu obsahu důležitých legujících příměsí. Ideální je minimalizace doby ohřevu na kovací teplotu za současného použití ochranných atmosfér [4].

Vliv legujících prvků v oceli je rovněž rozhodující pro výběr ocelí k tváření za tepla. Stoupající obsah uhlíku zvyšuje interval tvářecích teplot a snižuje horní přípustné tvářecí teploty a tvařitelnost v oblasti spodních teplot tváření. Mangan při obsahu do 2 až 3% zlepšuje tvařitelnost vazbou síry na sulfidy, při vyšších obsazích zvyšuje náchylnost ocelí k napětím vlivem teplotní dilatace. Křemík se používá jako dezoxidační prvek, u dvoufázových ocelí snižuje tvařitelnost a způsobuje sklon ke křehkosti. Chrom snižuje rekrystalizační schopnost ocelí a podporuje vznik pevně lpících okujů. Nikl má malý vliv na přetvárné odpory a tvařitelnost, vznikající sulfid NiS podporuje křehkost za tepla. Nikl podporuje vznik vnitřních trhlin - vloček. Molybden výrazně snižuje rekrystalizační schopnost ocelí a vazbou na síru způsobuje vznik vnitřních trhlin. Síra vznikem sulfidů vyvolává křehkost za tepla. Fosfor způsobuje chemickou nehomogenitu, jeho vliv na tvařitelnost není významný. Kyslík podporuje vznik oxidických vměstků. Vodík způsobuje vznik vloček. Dusík podporuje stárnutí ocelí. Měď při vyšších obsazích způsobuje lámavost za bílého žáru. Přítomnost prvků rozpustných s mědí (Ni, Mo) snižuje toto nebezpečí [4].

2.5 Svařitelnost konstrukčních materiálů

Svařitelnost je způsobilost materiálu, která umožňuje vytvořit za daných technologických podmínek svařování a konstrukčního řešení svarový spoj požadované kvality.

Nízkouhlíkové oceli jsou charakteristické nízkým obsahem uhlíku (do 0,25% C), běžným obsahem Mn, P, S a stopovým množstvím legujících složek. Vyrábějí se uklidněné a neuklidněné. Neuklidněné jsou náchylné k precipitaci a stárnutí a jejich svařitelnost není vždy vhodná. Rozhodujícím kritériem pro svařitelnost nízkouhlíkových ocelí je změna tvárných vlastností svarových spojů. Křehnutí způsobují metalurgické a mechanické vlastnosti. Všechny tyto oceli jsou náchylné k samozakalování, důležitá je kontrola tepelného cyklu (předehřev a ochlazování) [8].

Středně legované oceli jsou se součtem středních obsahů legujících prvků do 2,5 %. Jde o konstrukce pracující při vyšších teplotách. Mají velkou náchylnost k samozakalování, jsou nutná zvláštní opatření v oblasti kontroly tepelného cyklu [8].

Vysoko pevnostní a vysokolegované oceli jsou charakterizovány vysokým obsahem legujících prvků a vyššími dosahovanými mechanickými vlastnostmi. Mají tendenci k samozakalování a

segregaci a oxidaci legujících prvků a kovových sloučenin v roztoku slitiny, je nutná přísná kontrola tepelných cyklů, přídavných materiálu a ochranných atmosfér [8].

Šedá litina není prvotně určená ke svařování. To lze uplatnit v krajních, havarijních případech u velkých nebo unikátních odlitků. Problematiku svařování šedé litiny se posuzuje z hlediska vysokého obsahu křemíku, fosforu, nečistot a téměř nulové tvárnosti [8].

Neželezné kovy. Svařitelnost hliníku ovlivňuje jeho velká afinita ke kyslíku, to vede ke vzniku vysokoteplotních oxidů, které brání kovovému spojení základního a přídavného materiálu. Podmínit svařitelnost lze použitím svařování pod tavidlem a v ochranné atmosféře. Slitiny mědi. Svařitelnost se posuzuje z hlediska operativního a metalurgického. Operativní svařitelnost ovlivňuje velká tepelná (zhoršuje podmínky lokálního ohřevu a tavení, nutno předehtřívát) a elektrická vodivost. Metalurgickou svařitelnost ovlivňuje kyslík, vizmut, olovo a síra. Titanové slitiny. Svařitelnost slitin titanu ovlivňují nečistoty, velká afinita Ti k atmosférickým plynům a náchylnost Ti na přehřátí a vznik křehké fáze při ochlazování [8].

2.6 Obrobitelnost materiálů

Volba materiálu s dobrou obrobitelností je jedním z prostředků ovlivňujících zkrácení technologického cyklu a zvýšení produktivity při obrábění. Obrobitelnost lze charakterizovat těmito ukazateli [9]:

- trvanlivost ostří řezného klínu nástroje, udává se v minutách ve vztahu k odpovídající řezné rychlosti,
- řezným odporem (N), popř. specifickým řezným odporem (MPa),
- drsností obráběného povrchu,
- druh vytvářených třísek.

Každý z těchto ukazatelů má jinou intenzitu vlivu. Pokud vyjdeme z etalonu optimální obrobitelnosti (100%), která odpovídá automatové oceli do 0,12% C, lze stanovit stupnici obrobitelnosti různých materiálů při konstantní trvanlivosti ostří 60 min a řezné rychlosti 60 m/s. Velmi dobrou obrobitelnost má obecně tvárná litina a slitiny lehkých kovů. Kromě chemického složení materiálu má vliv na obrobitelnost materiálu, zejména ocelí, jejich makro a mikrostruktura [9].



Shrnutí kapitoly

Výsledkem studia této kapitoly by měl být základní přehled strukturálních a mechanických vlastností konstrukčních materiálů a jejich vývoje ve vztahu k technologickým podmínkám výrobních procesů. Podrobnější údaje o tvařitelnosti, svařitelnosti a obrobitelnosti lze dále získat z publikací [4] až [9].



Kontrolní otázky

1. Jakou formou se nejčastěji vyjadřují fyzikální a mechanické vlastnosti těles?
2. Jmenujte hlavní veličiny používané pro popis materiálových vlastností.
3. Jaká aproximační funkce se zpravidla používá pro popis přetvárného odporu?
4. Uveďte nezávisle proměnné funkce přetvárného odporu.
5. Popište některé metody umožňující modelovat nehomogenitu kontinua.
6. Uveďte hlavní termín používaný pro označení skupiny technologických vlastností odlévaných materiálů.
7. Který hlavní termín je používán pro skupinu vlastností svařovaných materiálů?
8. Jmenujte hlavní termín používaný pro charakterizaci technologických vlastností obráběných materiálů.
9. Uveďte termíny používané pro hodnocení technologických vlastností objemově tvářených materiálů.
10. Které hlavní termíny jsou používány pro hodnocení technologických vlastností plošně tvářených polotovarů?
11. Jakým způsobem ovlivňuje obsah uhlíku v ocelích interval tvářecích teplot?
12. Jaká průměrná velikost zrna v ocelích je doporučována pro objemové tváření za studena?
13. Jaký poměr meze kluzu a meze pevnosti je vhodný pro objemové tváření ocelí za studena?

3 Technologičnost konstrukce výkovků

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- hodnotit nákladové náročnosti různých metod zápustkového kování za tepla z hlediska spotřeby materiálu, nástrojů, času a energie.
- Získáte poznatky o metodách hodnocení životnosti tvářecích nástrojů a jejich predikce.

Budete umět

Budete schopni:

- z hlediska jednotlivých způsobů tváření osvětlit metody změn konstrukce výkovku a nástroje s cílem minimalizace spotřeby uvedených zdrojů.

Budete schopni



Výklad

3.1 Úvod

Racionální konstrukce výkovků pro technologii tváření za tepla musí vycházet ze znalosti současných metod tváření, jejich přínosů a rozsahů použití. Výkovky zhotovené technologií kování se používají zejména ve výrobě polotovarů pro stavbu strojních zařízení. Vyznačují se dobrými mechanickými vlastnostmi, které získaly tepelným zpracováním. Jedním ze základních cílů operací kování za tepla je rozbití dendritické struktury zrn ve výchozím materiálu a dosažení vláknité, jemnozrnné struktury. U polotovarů zhotovovaných kováním jsou nevyhnutelné větší technologické přídatky na obrábění a větší materiálové náklady [1].

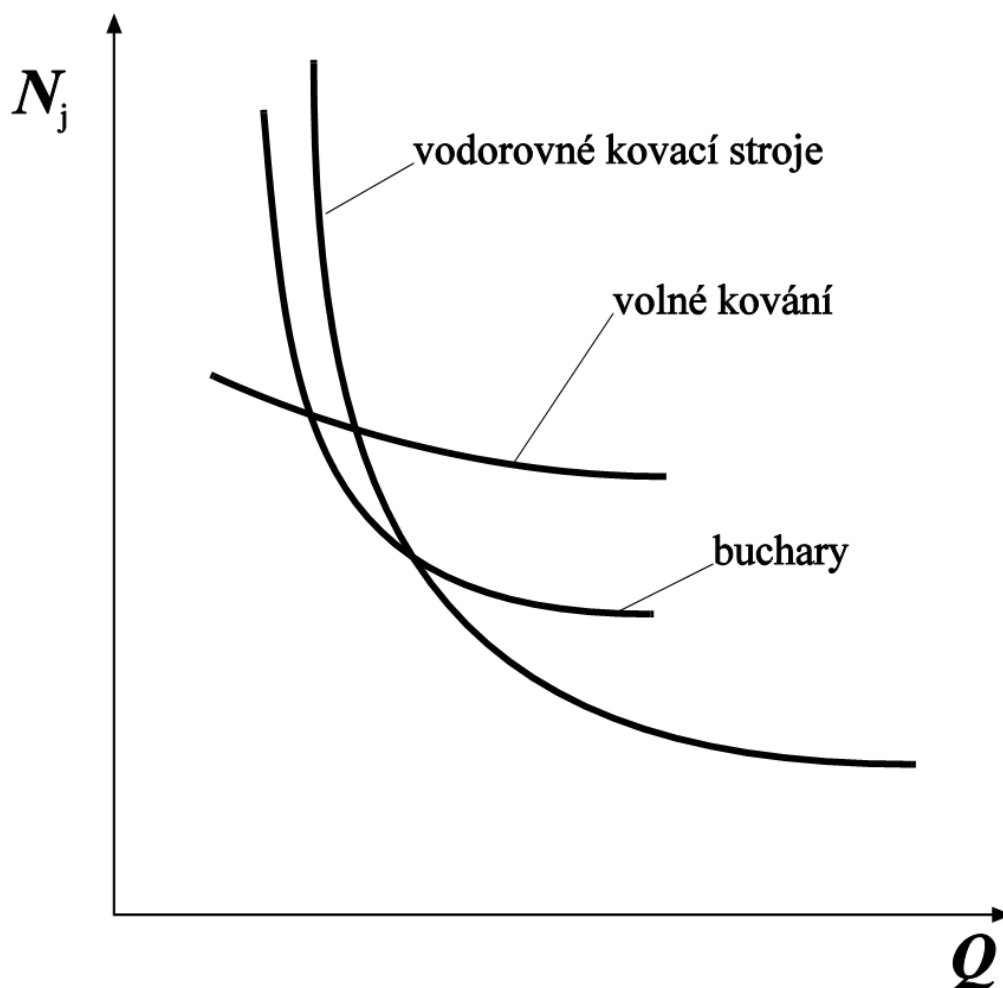
Růst velikosti produkce a její kvality představuje růst nákladů na výrobní techniku a aplikace metod změn konstrukce výrobku a nástrojů pak představuje cestu snižování spotřeby materiálových a energetických zdrojů.

3.2 Zápustkové kování

Užitím technologie zápustkového kování konečný tvar výkovku obdržíme v jedné nebo několika dutinách zápustky. Nutnost předkovků vyplývá z nutnosti kontroly toku materiálu v zápustce, pro dodržení velikosti deformace pro rozvoj rekrystalizace a v neposlední řadě pro prvotní odkujení v nekalibračních dutinách [1].

Základní principy technologičnosti konstrukce výkovků: [1]

- * správná volba výchozího materiálu,
- * volba co největšího počtu ploch kovaných na finální tvar,
- * pro dosažení přesných a hladkých ploch se zařazuje operace kalibrování,
- * vyhnout se tvarově podobným symetrickým výkovkům (boční síly),
- * omezit počet výstupků, použít kombinaci technologií kování a svařování,
- * přechody mezi tenkými a silnými průřezy musí být plynulé, poměr průřezů úkosů ve směru délky výkovku nesmí být větší než 3:1,
- * zohlednění tečení kovu do zápuskové dutiny (plynulé přechody),
- * snížit počet blízko u sebe umístěných žeber,
- * rozdíl ve smršťování delších a kratších částí výkovku,
- * technologické roviny: respektovat požadavek stability upnutí výkovku při operacích obrábění.



Obrázek 3-1: Relace nákladů a velikosti produkce technologií kování za tepla [1].

Technicko ekonomická analýza výkovků:

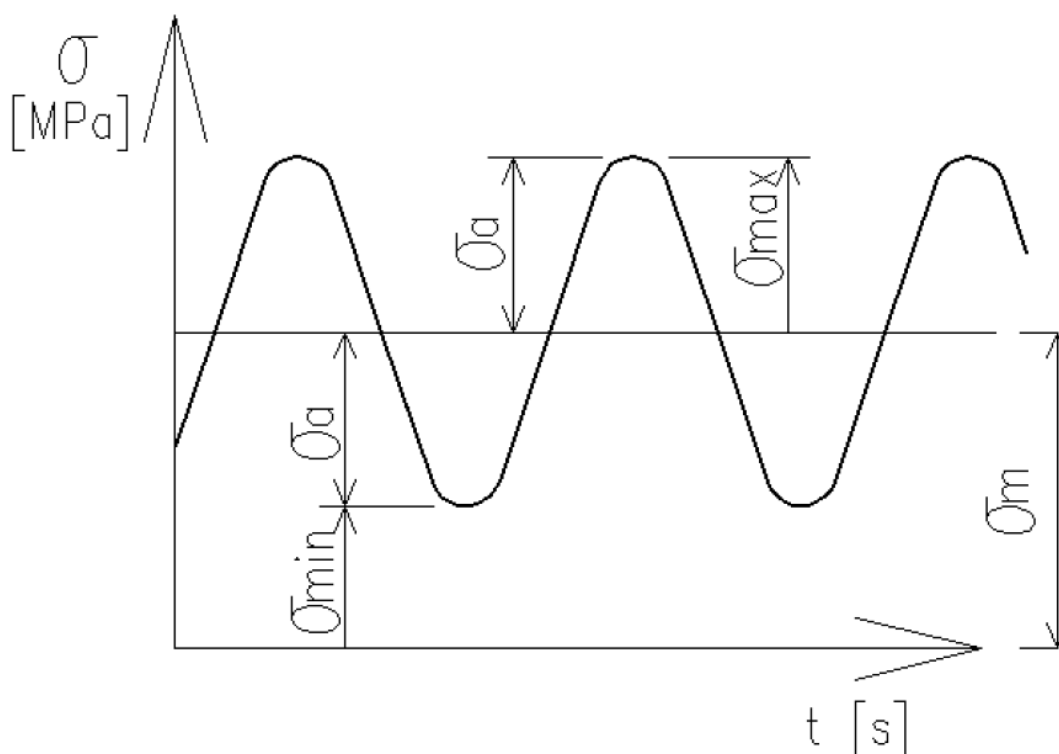
Technicko-ekonomická analýza výrobků vychází obvykle z relace hmotnosti polotovaru a jeho ceny, mzdových a provozních nákladů spolu s dobou výrobních cyklů, investičními náklady vybavení a velikostí zpracovávané série [1]:

$$N_j = G \cdot (N_m + N_e) + (N_z + N_t) \cdot t_c + I/Q \quad (3-1)$$

kde G - hrubá hmotnost výkovku (kg),
 N_m - jednotková cena materiálu (Kč/kg),
 N_e - jednotková cena energie (Kč/kg),
 N_z - náklady na mzdy (Kč/h),
 N_t - provozní náklady na tvářecí techniku (Kč/h),
 t_c - čas technologického cyklu pro 1 ks (h),
 I - investiční náklady na tvářecí techniku,
 Q - množství vyrobených polotovarů.

Z obrázku 3-1 vyplývá, že náklady na výkovky se mění velmi málo s růstem produkce. Největší pokles křivky způsobují náklady na tvářecí techniku. Významný pokles nákladů se projevuje u technologií s výraznějším podílem nákladů na nástroje (kování na strojích s vysokou produktivitou).

3.3 Metody predikce životnosti tvářecích nástrojů



Obrázek 3-2: Cyklické namáhání [11].

Strojní konstrukce jsou během provozu namáhány časově proměnnými silami. Účinky takových sil a jimi vyvozených deformací, jsou odlišné od účinků stejně velkých sil statických. Jejich výsledkem je únava materiálu, která rozhoduje o životnosti součásti. Namáhání nástroje v libovolném bodě objemu a libovolném okamžiku pracovního cyklu lze účinně simulovat při analýze metodou konečných prvků. Je tedy možné identifikovat časový

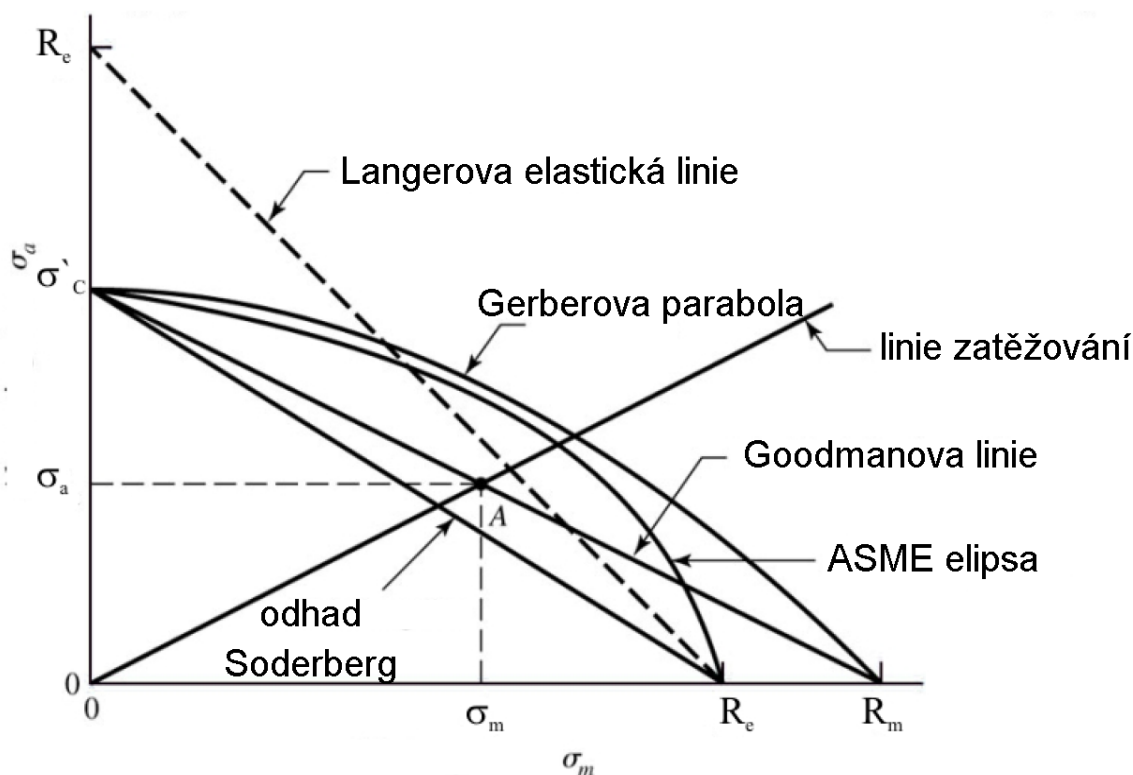
průběh namáhání v kritickém bodě nebo průřezu součásti stroje nebo nástroje. Únavu lze posuzovat podle úrovně deformací nebo úrovně napětí, vedoucích k porušení. Prvý přístup je nezbytný u nízko cyklového namáhání, kde plastické složky deformací hrají významnou úlohu. Druhý je běžně používán při kontrole provozem namáhaných součástí, kde se úroveň napětí pohybuje v oblasti pružné oblasti a počet cyklů do porušení je relativně vysoký. Cyklické namáhání je charakterizováno dvěma veličinami, amplitudou napětí a středním napětím (obrázek 3-2) [11]:

$$\sigma_a = \frac{(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})}{2}, \quad \sigma_m = \frac{(\sigma_{\max} + \sigma_{\min})}{2}. \quad (3-2)$$

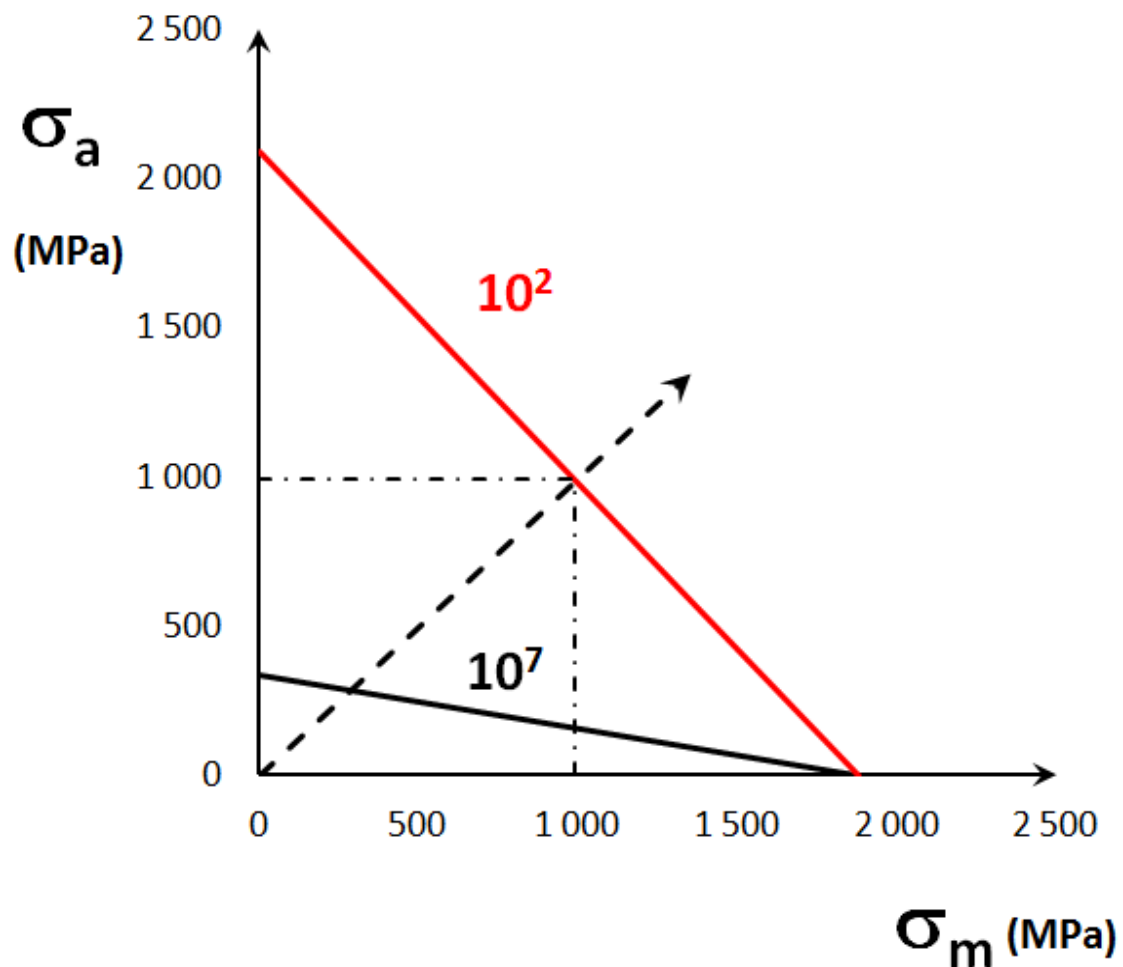
Na obrázku 3-2 je symetrický střídavý cyklus. Při tzv. mívivém cyklu je jedna z mezí nulová. Mívivým cyklem je namáhána zápustka volná nebo bez vůle podepřená v sestavě nástroje. Předepjatá armovaná zápustka bude namáhána cyklem, kde je dolní mez záporná.

Vztah mezi amplitudou, středním napětím a materiálovými vlastnostmi jako mez únavy, mez kluzu nebo mez pevnosti lze vyjádřit několika vztahy, graficky vyjádřenými tzv. Smithovými nebo Haighovými diagramy – obrázek 3-3. Východiskem je GOODMANova rovnice k sestrojení zjednodušeného Haighova diagramu – obrázek 3-4 [11]:

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_c} + \frac{\sigma_m}{R_m} = 1. \quad (3-3)$$

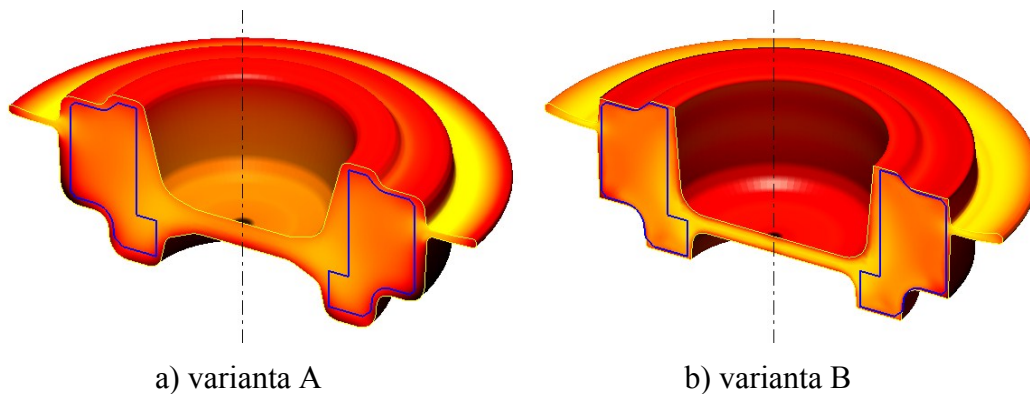


Obrázek 3-3: Koncepte mezních křivek.

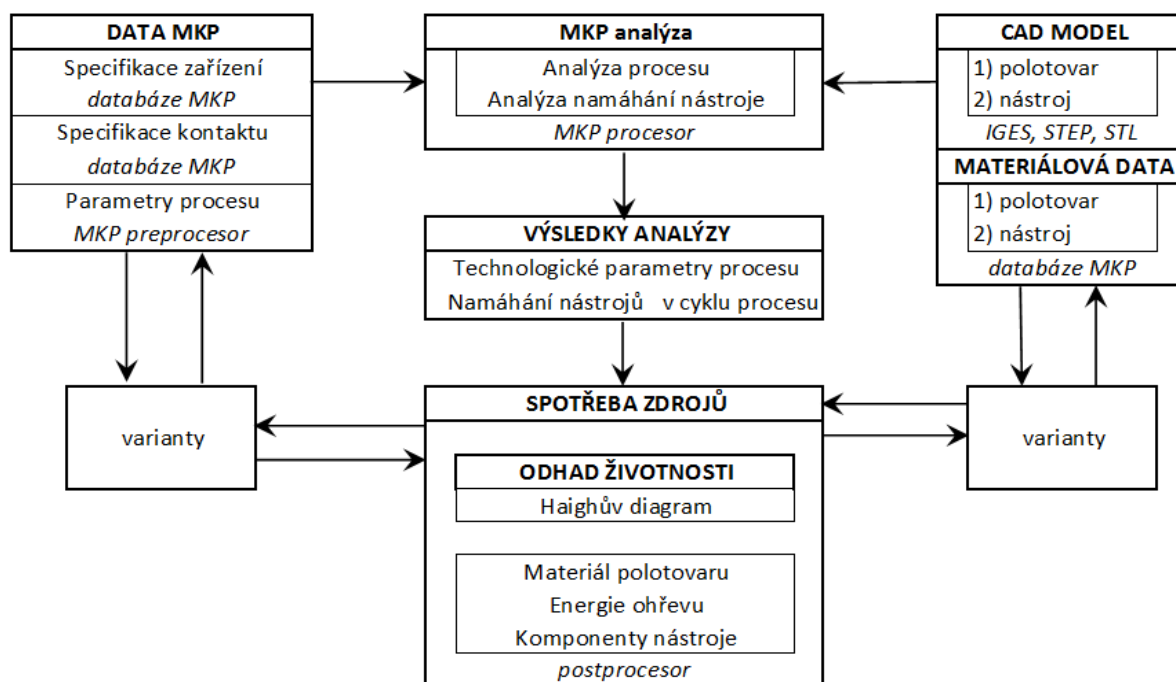


Obrázek 3-4: Goodmanova linie.

V Haighově diagramu, přímka spojující mez pevnosti na vodorovné ose s mezí únavy na svislé ose, je považována za limitní s neomezenou životností. Přímka pro daný způsob zatěžování na svislé ose vyznačuje časovou mez únavy a vyjadřuje tak empirickou závislost logaritmu poměrné životnosti, vyjádřené počtem výrobních cyklů, na poměrném napětí v relaci k dovolené mezi únavy (3-4) [11].



Obrázek 3-5: Konstrukčně technologické varianty.



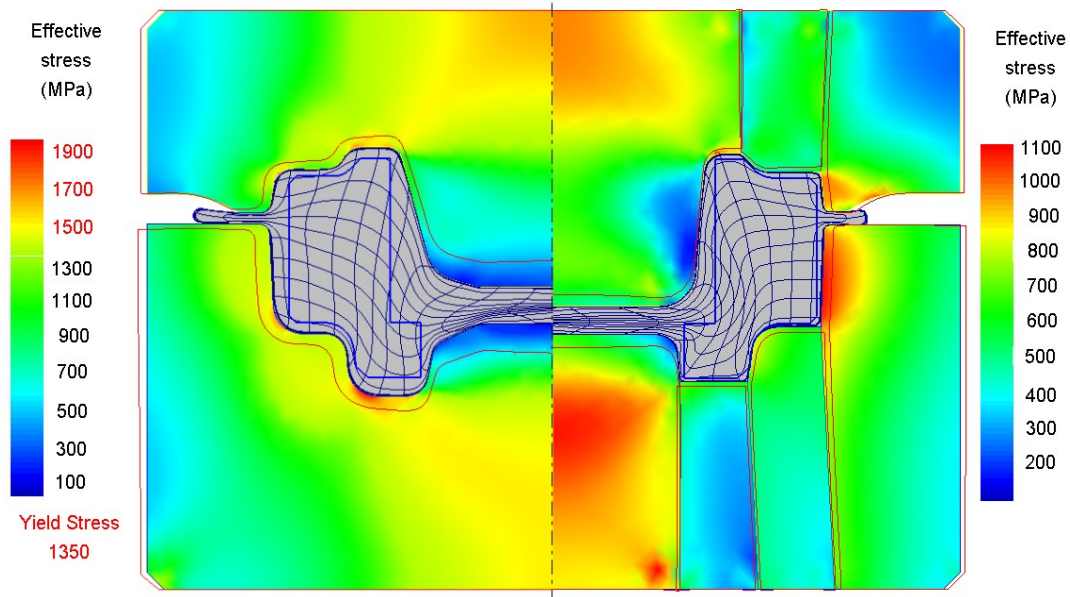
Obrázek 3-6: Rámcový postup analýzy technologičnosti konstrukce výkovku [10].

$$N = N_{\infty} \left(\frac{\sigma_C}{k\sigma_N} \right)^m, \quad (3-4)$$

kde σ_N – časová mez únavy,
 σ_C – cyklická mez únavy,
 N_{∞} – 10^7 cyklů,
 N – hledaný počet cyklů,
 k – koeficient bezpečnosti,
 m – empirický exponent životnosti.

3.4 Analýza technologičnosti konstrukce výkovku

Ve výrobních procesech, kde jsou základem technologické procesy na bázi plastické deformace, je pro dosažení vyšší efektivity produkce rozhodující snižování spotřeby materiálu, energií a funkčních částí tvářecích nástrojů. Východiskem je návrh změny geometrie polotovaru a koncepce nástrojů spolu s podmínkami technologického procesu. Následuje analýza sestaveného modelu tvářecího procesu metodou konečných prvků. Úspora materiálu a energie vychází ze snížení technologických přídavek – obrázek 3-5. Příklad postupu je pro zápusťkové kování polotovaru ozubeného kola schematicky znázorněn na obrázku 3-6. Vyšší životnosti nástrojů pro přesnější tvářecí zařízení je založeno na dekompozici monobloku zápusťky na tvarově jednoduché části, které pak tvoří složený montážní celek s programovaným předpětím – obrázek 3-7 [10], [12], [15].



Obrázek 3-7: Hodnocení technologického návrhu variant.

3.5 Úloha konstrukce a technologického postupu výkovku



Řešený příklad

Zadání příkladu:

Analyzujte typové provedení zápustkového výkovku navrženého klasickým způsobem pro kování na bucharu nebo vřetenovém lisu. Na základě hodnocení namáhání zápustky navrhnete její úpravu pro přesný mechanický lis. Současně navrhnete novou konstrukci výkovku s cílem snížit objem vstupního polotovaru. Návrh výkovku podrobte analýze z hlediska toku materiálu polotovaru a jeho finálních rozměrů ve vztahu k nutným technologickým přídávům. Současně stanovte základní parametry namáhání nového nástroje a odhadněte počet cyklů životnosti jeho funkčních částí. Porovnání obou variant proveďte pro zvolenou velikost produkce. Odhadněte úsporu materiálu v hmotnostních jednotkách a porovnejte spotřebu funkčních částí nástroje pro několik variant nástrojových materiálů. Pro výběr typových zápustkových výkovků lze využít zásobník jejich výkresů na adrese: www.345.vsb.cz/jirihruby/tek/tek_kov.htm.

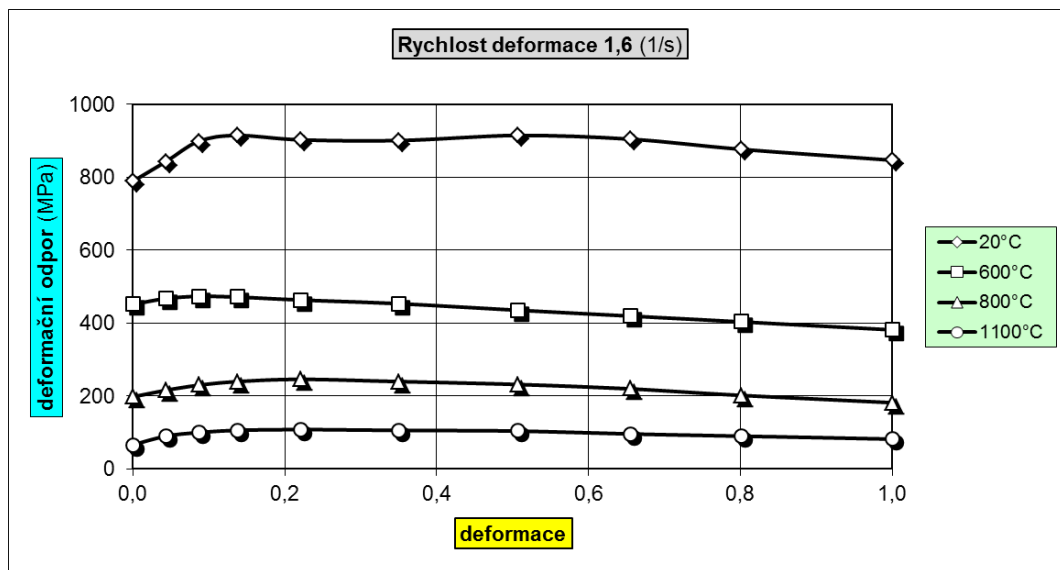


Postup řešení:

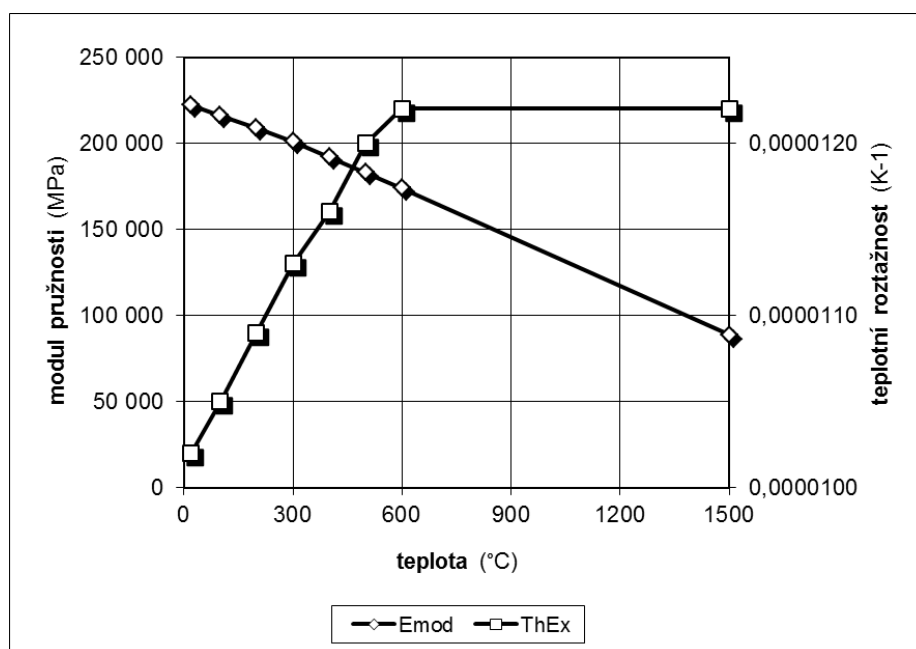
1. Analýza zápusťkového kování pro výchozí technologii

Na základě výkresové a výrobní dokumentace sestavit matici geometrických a technologických parametrů analyzované technologie zápusťkového kování za tepla. Pro zvolený materiál sestavit konstituční matici jeho vlastností spolu s teplotně závislými parametry:

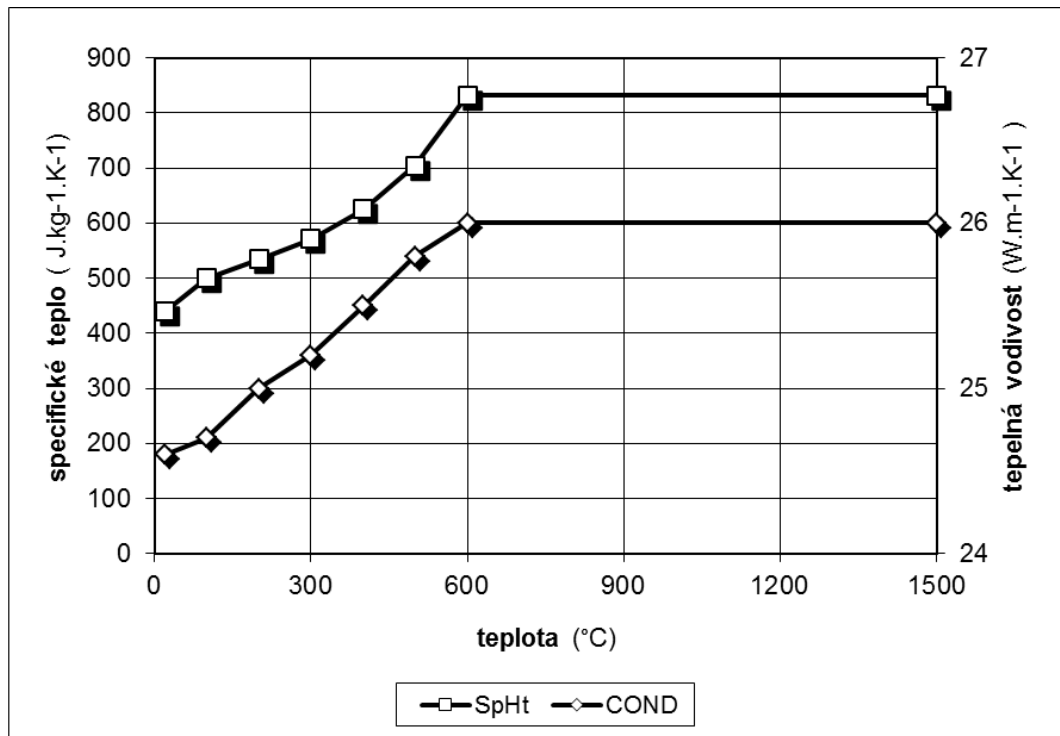
- přetvárný odpor v závislosti na deformaci, deformační rychlosti a teplotě,



- teplotní roztažnost v závislosti na teplotě,
- modul pružnosti v závislosti na teplotě,

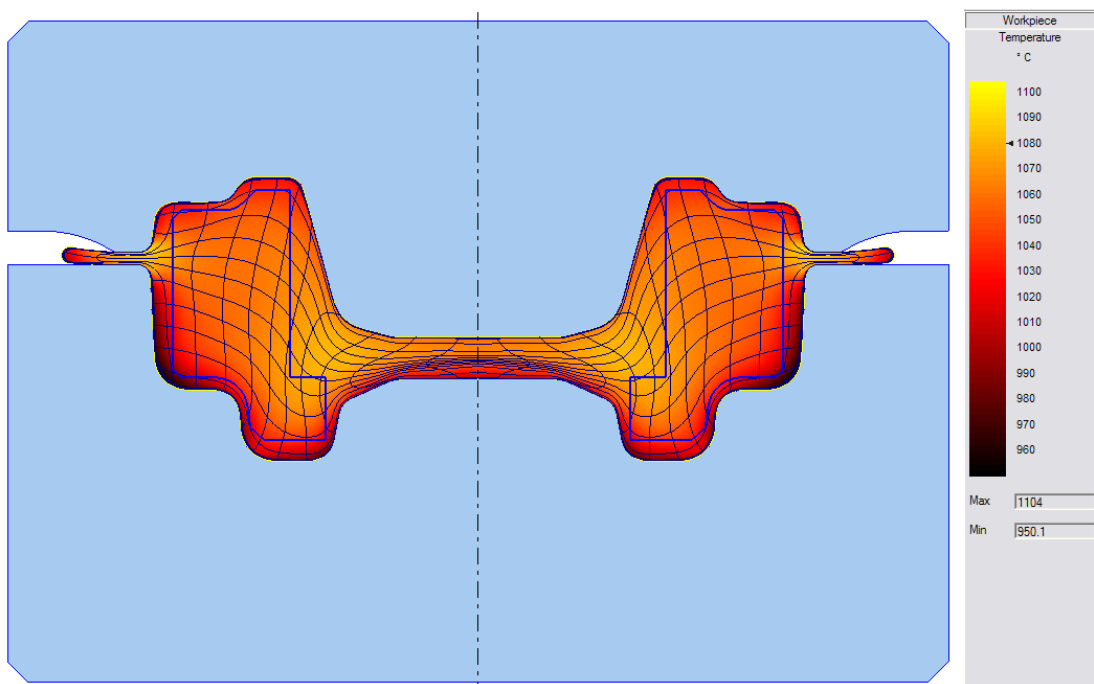


- tepelná vodivost v závislosti na teplotě,
- specifické teplo v závislosti na teplotě.

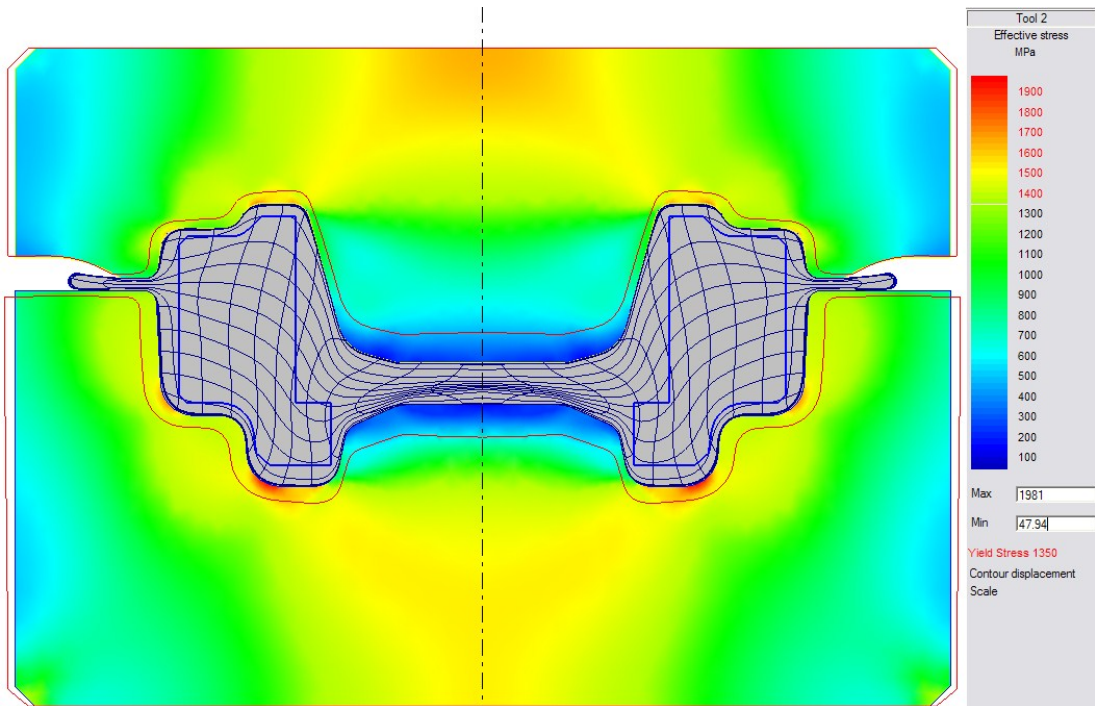


S využitím dostupné aplikace pro analýzu tvářecích procesů např. metodou konečných prvků získat klíčová data technologického postupu.

- ❖ Vývoj teplotního pole a toku materiálu ve vztahu k poloze obrobku:



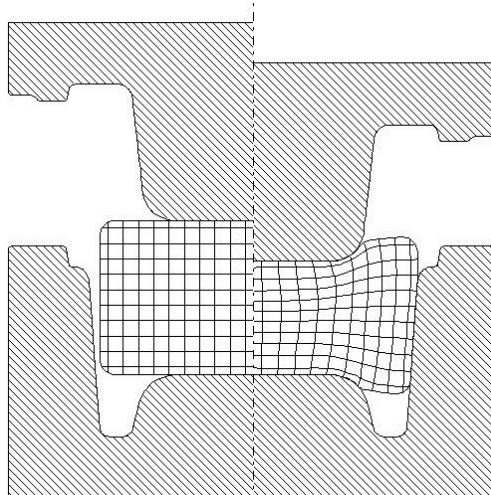
❖ Vývoj napjatosti v obou částech nástroje:



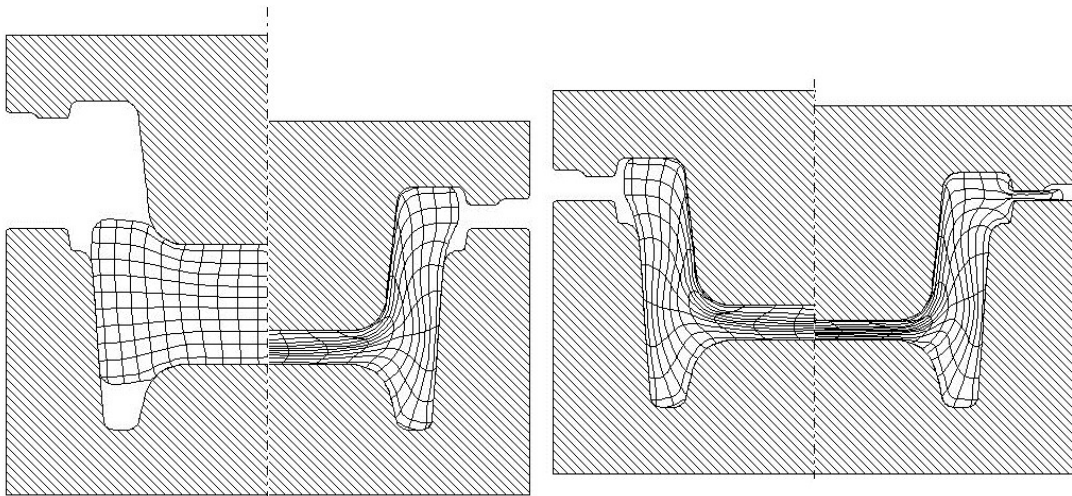
2. Návrh výkovku a nástroje pro přesné kování

Přesné zápustkové kování vyžaduje zajištění vývoje všech technologických parametrů, síly, toku materiálu na kovacích strojích s vysokými nároky na opakovanou přesnost a regulaci expozice v sériové výrobě. Návrh změn konstrukce výkovku a kovací zápustky je nutné brát zřetel dominantně na rizika vzniku vad toku materiálu při zaplňování dutiny zápustky v jednotlivých fázích technologického cyklu.

❖ Fáze přechování, tok materiálu k vnějším okrajům zápustky:

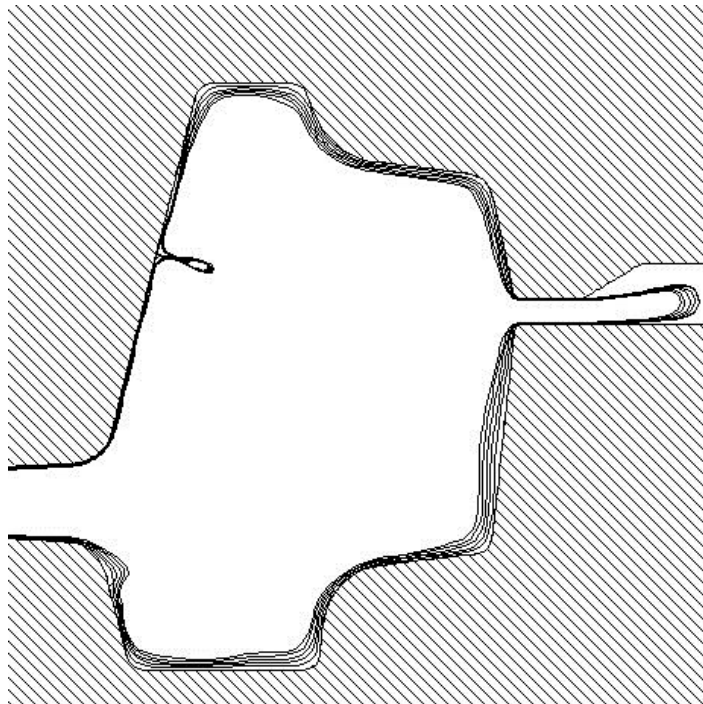


❖ Fáze zaplňování dutin nástroje a výrobku:

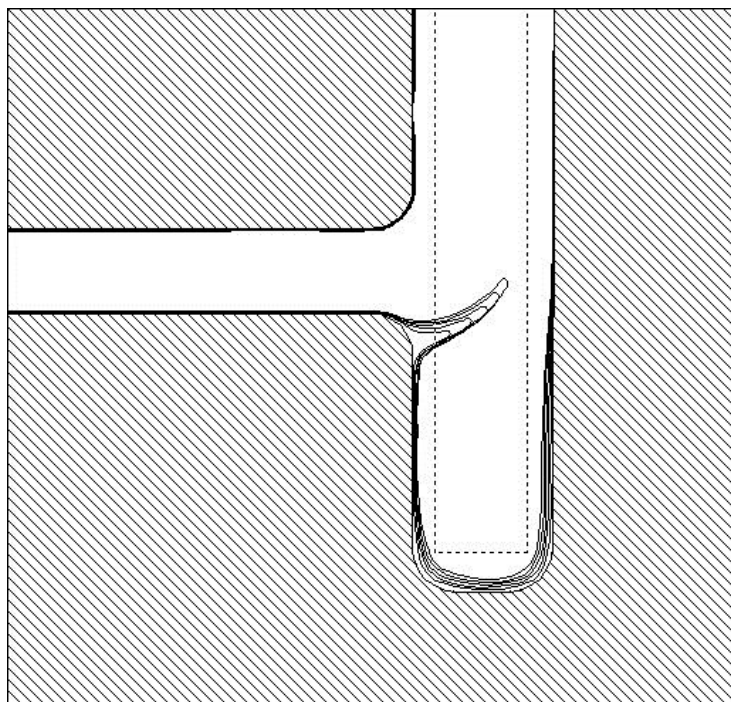


V libovolném okamžiku kovacího cyklu může vlivem specifických kombinací geometrických, kontaktních, transportních a materiálových podmínek vzniknout situace vhodná pro iniciaci nestability toku materiálu mající za následek některou z vad, která může nevratně nebo s vynaložením dodatečných nákladů významně snížit efektivitu výroby.

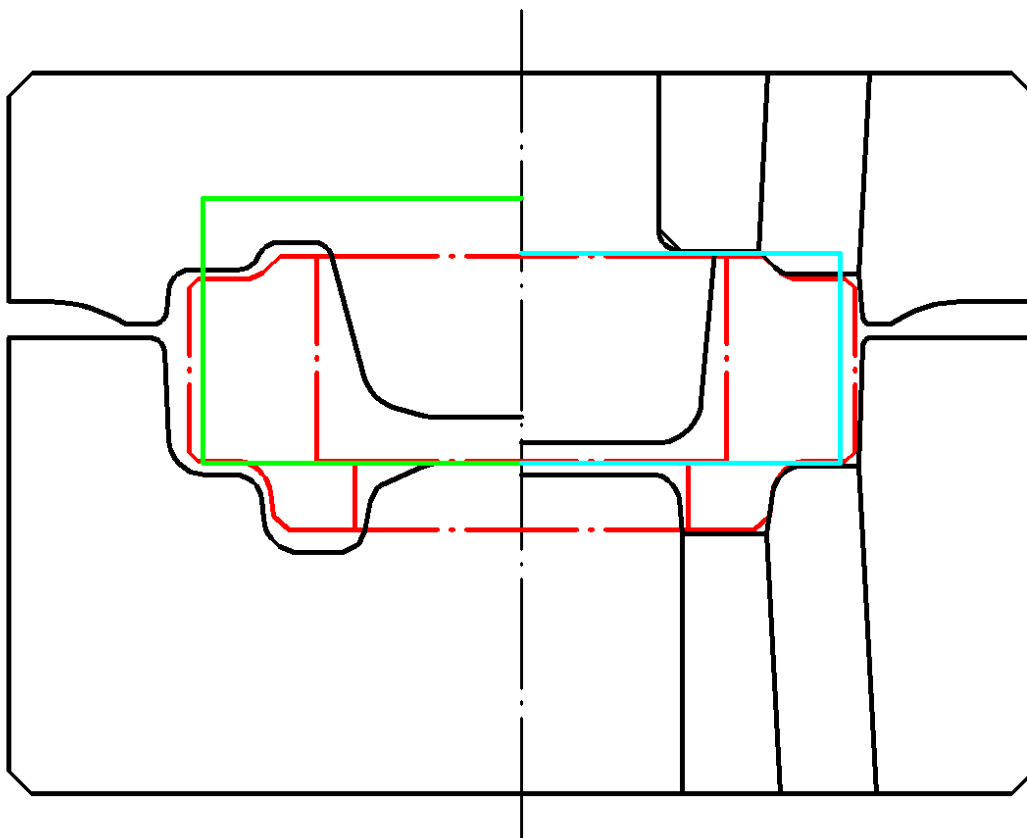
❖ Vznik vady typu přeložka nebo zákovek:



❖ Vznik vady typu zákovek:



❖ Návrh změn konstrukce výkovku a kovací zápustky:



Cílem změny konstrukce výkovku je snížení objemu materiálu a tím i snížení spotřeby energie na ohřev vsázky i na vlastní tvářecí proces. Snížení namáhání kovacího nástroje lze při zachování požadavků na tvar výkovku nejlépe dosáhnout konstrukcí armovaného složeného nástroje, který využívá příznivého efektu předpětí nalisovaných nádob. Rozdělení jednotlivých částí nástroje je vhodné situovat do míst koncentrace napětí v místech přechodů v dutině zápustky původní konstrukce.

3. Analýza kování pro navržené změny konstrukce

Pro analýzu změn konstrukce výkovku a nástroje je nutné opět specifikovat geometrické a technologické parametry a náležitě dokumentovat přehledně ve srovnání s původní koncepcí. K technologickému postupu je nutné specifikovat varianty kovacích strojů a zařízení. Nezbytné jsou materiálové parametry variant analyzovaného výkovku a sestav kovacích nástrojů.

❖ Přehled základních dat technologického postupu:

TPK			Ozubené kolo	objem (mm ³)	V	a	b	
polotovary		ČSN DIN	ocel	průměr (mm)	D	8,5E+05	6,7E+05	
			steel	stř. délka (mm)	H	156,00	150,00	
						44,42	37,66	
ohřívací zařízení			indukční ohřev	kovací teplota	T _k	1 100	°C	
technologický postup		LIS	LZK2500	min. deformace	1,00	čas		
		1.a	ohřev na 1100°C - H ₀ =	157,41	D ₀ =	84,91	1 800	s
		1.b	ohřev na 1100°C - H ₀ =	123,40	D ₀ =	84,91	1 801	s
		2.a	pěchování na D _p =	140,00	H _p =	57,91	8,15	s
		2.b	pěchování na D _p =	140,00	H _p =	45,40	8,15	s
		3.	kování tvaru				6,10	s
		4.	ostřížení, děrování			6,10	s	

❖ Varianty kovacích strojů a materiálu výkovku:

kovací stroj	CSN							
MECHANICKÝ	M	$F = 8(1 - 0,001.D).(1,1 + 20/D)^2 .\sigma_P .\pi .D^2/4$						
HYDRAULICKÝ	H	$F = 8(1 - 0,001.D).(1,1 + 20/D)^2 .\sigma_P .\pi .D^2/4$						
VŘETENOVÝ	V	$F = 3,84.(1 - 0,0005.D).(2 + 0,1.D/H) .\sigma_P .\pi .D^2/4$						
BUCHAR	B	$A = 1,8.(1 - 0,0005.D).(1,1 + 20/D)^2 .(0,75+0,00001.D^2) .\sigma_P .D$						
nominální parametry	z z' v			M (b)	H (b)	V (a)	B (a)	
		mohutnost		MN	MN	MN	kJ	
		lisu		40,0	25,0	40,0	216,0	
		zdvih	mm	380,0	165,0	630,0	1 000,0	
		zdvihy za min	1/min	55,0	10,0	47,6	40,0	
		rychlost zdvihu	mm/s	696,7	55,0	1 000,0	1 333,3	
kovací parametry	V _d = v/H	V _d	rychlost def.	1/s	15,7	1,2	22,5	30,0
	σ _P	def. odpor	MPa	193,7	123,7	275,5	275,5	

❖ Materiálové varianty kovacího nástroje:

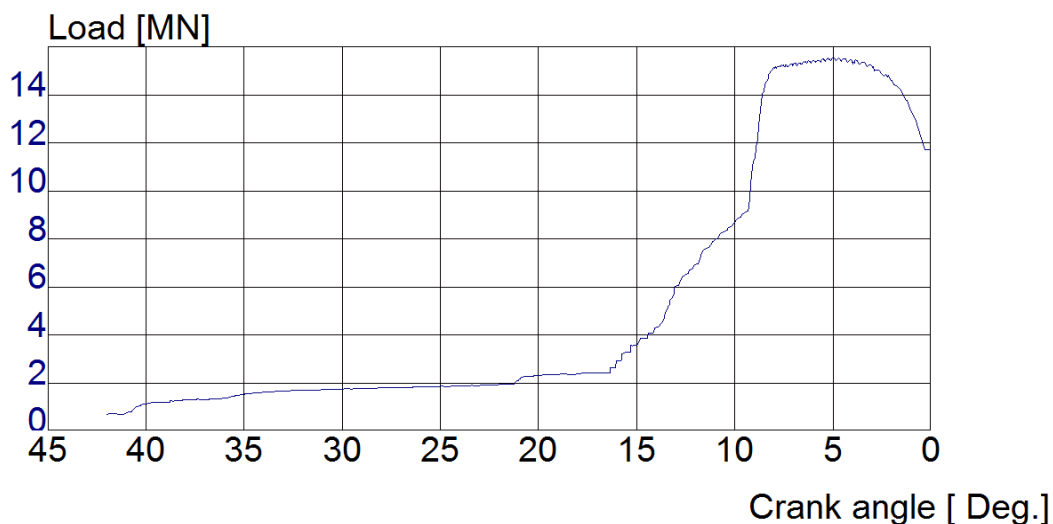
$\sigma_N = \sigma_{\max} \cdot R_m / (R_m - \sigma_{\max} / 2) / 2$ $\sigma_U = \sigma_d / k_c$	R_m R_e $\sigma_{\max}$ σ_N σ_c k_c σ_U	varianta nástroje		a	b			
		materiál		19 552	19 552	19 733	19 436	
		200 °C	pevnost	MPa	1 880	1 880	2 400	3 800
		200 °C	dov. namáhání	MPa	1 350	1 350	1 800	2 850
			max. ef. napětí	MPa	1 981	1 103		
			čas. mez únavy	MPa	2 093	780	716	645
			mez únavy	MPa	338	338	450	713
			koef. bezp.	MPa	1,2			
		dov. mez únavy	MPa	281	281	375	594	

Na základě analýzy např. metodou konečných prvků je nutné specifikovat jak energetické a silové parametry tak i vývoj vlastností materiálu výkovku a namáhání jednotlivých částí sestavy kovacího nástroje pro navržené technologické varianty.

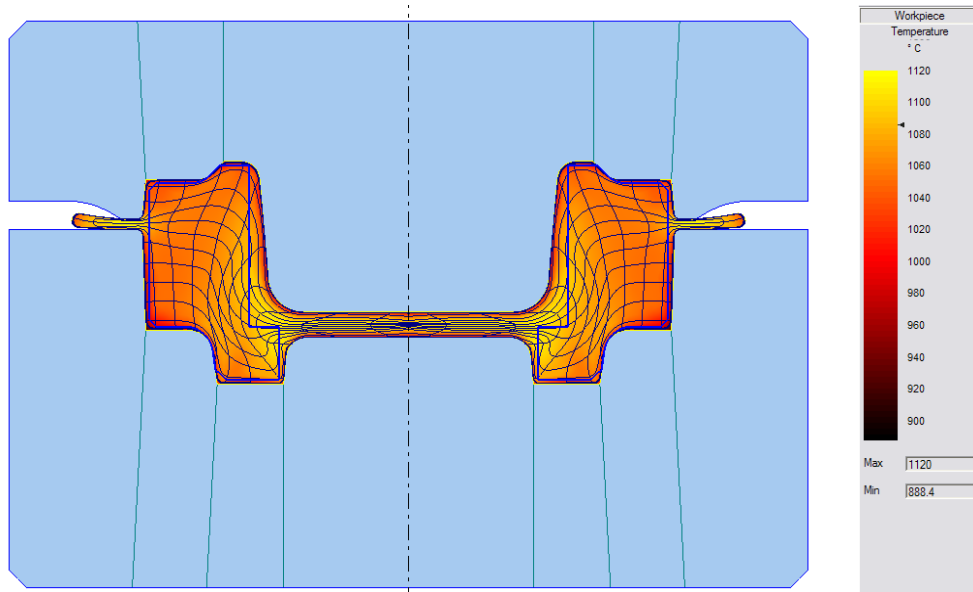
❖ Záznam parametrů varianty návrhu:

				M (b)	H (b)	V (a)	B (a)
	CSN	síla/práce	MN/kJ	37,98	24,25	43,83	106,88
	FEM	síla/práce	MN/kJ	15,49			127,94
		dráha	mm	40,5			47,9
		čas	s	10,1			6,0
		T dokovací	°C	888			950

❖ Pracovní diagram zápusťkového kování:



❖ Tok materiálu a koncová teplota varianty návrhu:

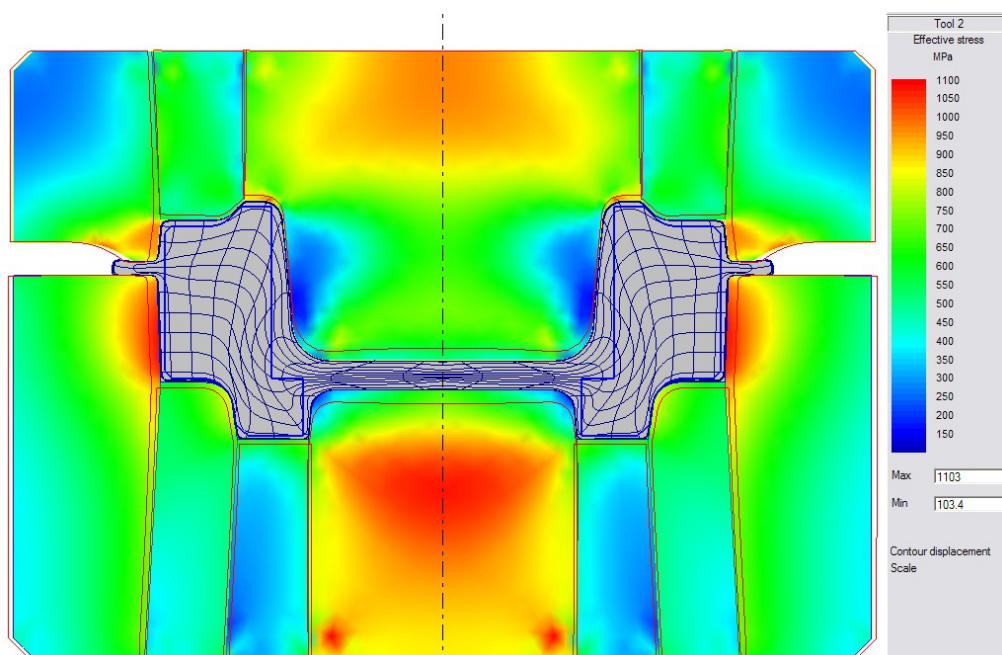


Komentář: Všechny klíčové technologické parametry kromě spotřeby materiálu výkovku výchozí a nové varianty jsou ve většině případů srovnatelné.

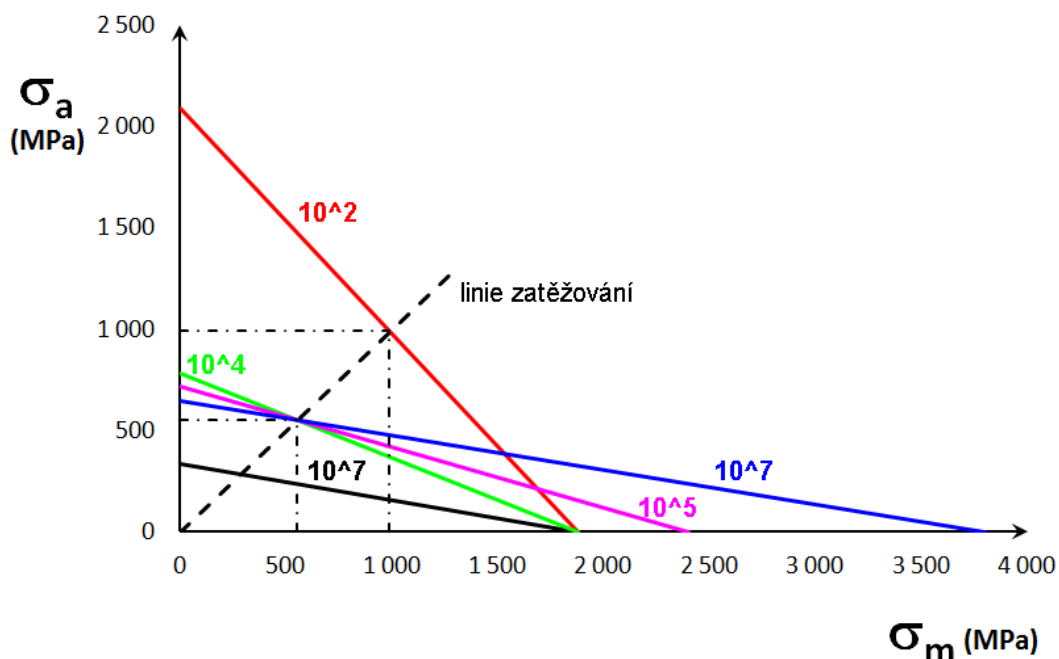
4. Stanovení úspory ve spotřebě materiálu a nástrojů

Materiálové varianty funkčních částí kovací zápustky skýtají různé možnosti projekce úspor finální spotřeby nástrojových sestav ve vztahu k velikosti produkce a nákladům na jejich výrobu.

❖ Namáhání varianty složeného nástroje:



- ❖ Haighův diagram variant nástrojových materiálů, červeně – výchozí technologie:



- ❖ Vyhodnocení variant životnosti a spotřeby materiálu a nástrojů:

$\sigma_N = \sigma_{\max} \cdot R_m / (R_m - \sigma_{\max} / 2) / 2$ $\sigma_U = \sigma_\sigma / k_c$ $N = 10^7 (\sigma_U / \sigma_N)^m$	R_m R_e $\sigma_{\max}$ σ_N σ_c k_c σ_U N	varianta nástroje	a	b			
		materiál	19 552	19 552	19 733	19 436	
		pevnost MPa	1 880	1 880	2 400	3 800	
		dov. namáhání MPa	1 350	1 350	1 800	2 850	
		max. ef. napětí MPa	1 981	1 103			
		čas. mez únavy MPa	2 093	780	716	645	
		mez únavy MPa	338	338	450	713	
		koef. bezp. MPa	1,2				
		dov. mez únavy MPa	281	281	375	594	
		počet cyklů	1	5,9E+01	2,2E+04	2,1E+05	6,1E+06
		produkce	ks	1 000 000			
		spotř. nástr. / prod.	ks	17 008	46	5	0
		hm sur. výkovku	kg	7,0	5,5		
		úsp. hm / prod.	kg		1 512 060		

Různé velikosti produkce vyžadují úvahu, zda vyrábět nástroje z náročných a nákladných materiálů s vysokou životností. Druhá možnost je použití levnějších nástrojů s vyváženou spotřebou. Navíc je nutné respektovat opotřebení nástrojů abrazí, kterou nelze rozbořem na zjednodušeném základě lomové mechaniky reálně hodnotit.



Shrnutí kapitoly

Výsledkem studia této kapitoly by měla být znalost základních východisek a postupu komplexního hodnocení technologičnosti konstrukce výkovků za tepla.



Kontrolní otázky

1. Popište hlavní přednosti a cíle zápusťkového kování za tepla.
2. Jak ovlivňuje růst velikosti produkce strukturu a velikost nákladů?
3. Jmenujte základní principy technologičnosti konstrukce výkovků.
4. Z kterých parametrů vychází technickoekonomická analýza zápusťkového kování?
5. Popište východiska predikce životnosti tvářecích nástrojů.
6. Které formy cyklického namáhání znáte?
7. Definujte relaci vyjádřenou Haighovým diagramem.
8. Které body Haighova digramu spojuje linie zatěžování?
9. Jaké parametry slouží pro odhad počtu cyklů zápusťkového kování?
10. Popište rámcový postup analýzy technologičnosti výkovku.

4 Technologičnost konstrukce objemových výlisků

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- hodnotit nákladové náročnosti různých metod objemového tváření za studena z hlediska spotřeby materiálu, nástrojů, času a energie.
- Získáte poznatky o metodách hodnocení životnosti tvářecích nástrojů objemového tváření za studena a jejich predikce.

Budete umět

Budete schopni:

- z hlediska jednotlivých způsobů tváření osvětlit metody změn konstrukce výlisku a nástroje s cílem minimalizace spotřeby uvedených zdrojů.

Budete schopni



Výklad

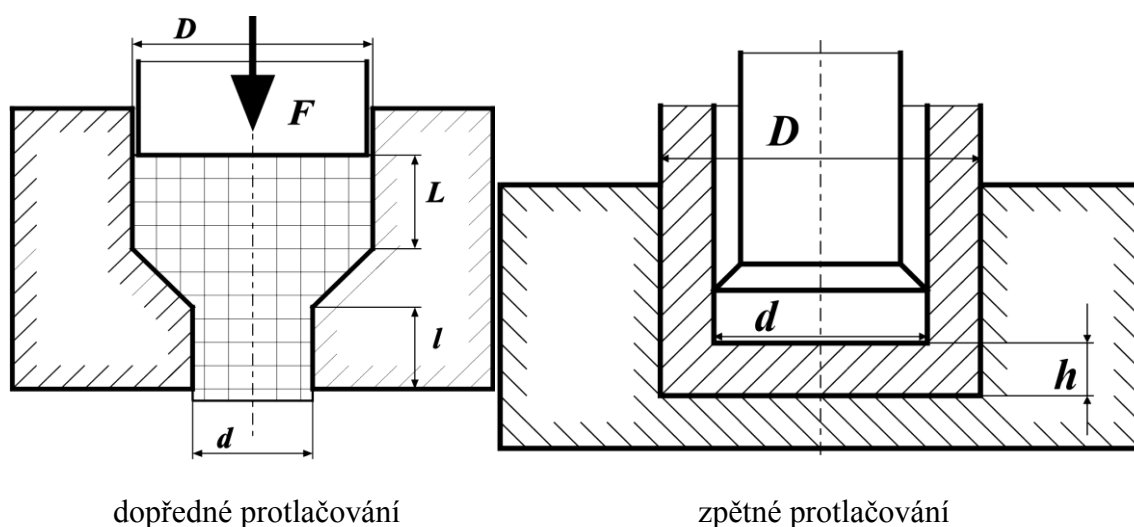
4.1 Úvod

Racionální konstrukce polotovarů pro technologii objemového tváření za studena musí vycházet ze znalosti současných metod tváření, jejich přínosů a rozsahů použití. Výlisky zhotovené technologií objemového tváření za studena se používají zejména ve výrobě polotovarů pro stavbu strojních zařízení. Vyznačují se dobrými mechanickými vlastnostmi, které získaly přetvořením za studena. Jedním ze základních cílů operací objemového tváření za studena je homogenní rozložení deformačního zpevnění v objemu polotovaru. U polotovarů zhotovovaných objemovým tvářením za studena jsou ve srovnání s kováním zatepla nutné výrazně menší přídavky na obrábění, některé prvky a plochy součástí není nutné obrábět vůbec nebo jen dokončovacími metodami. Růst velikosti produkce a její kvality představuje růst nákladů na výrobní techniku a aplikace metod změn konstrukce výrobku a nástrojů pak představuje cestu snižování spotřeby materiálových a energetických zdrojů. Významnou předností objemového tváření za studena je možnost, vhodnou volbou základních operací, navrhnout distribuci mechanických vlastností v objemu výrobku [1].

4.2 Objemové tváření za studena

Užitím technologie objemového tváření za studena konečný tvar výlisku obdržíme v jedné nebo několika dutinách nástroje. Nutnost postupné změny tvaru vyplývá z nutnosti kontroly toku materiálu v redukčních dutinách nástroje, pro dodržení velikosti deformace a při jejím pokud možno homogenním rozložení zajistit vyrovnaný stav výsledného zpevnění [1].

Pro objemové tváření za studena je nejvhodnější materiál ve stavu žíhaném naměkko, struktura u ocelí feritickoperlitická s perlitem pokud možno globulárním, průměrná velikost zrna 5 až 8. Doporučené mechanické vlastnosti: co nejnižší mez kluzu, co nejvyšší tažnost, co nejvyšší kontrakce (min. 55%), poměr meze kluzu a meze pevnosti v rozsahu $0,5 \div 0,6$. Z hlediska chemického složení ocelí je vhodný nízký obsah uhlíku, co nejnižší obsah fosforu a síry, min. výskyt metalurgických vad polotovarů. Cílem povrchové úpravy polotovarů před protlačováním je vytvoření příznivých podmínek tření pro snížení přetvárné síly a práce, počtu tvářecích operací a časů, ale i vyšší kvalitu povrchu po protlačování. Zpevnění v jednotlivých operacích se akumulují, lze je eliminovat zařazením operací tepelného zpracování. Při objemovém tváření ocelí za studena je mezní střední průřezová deformace volena do 1,6 podle druhu materiálu, složitosti geometrie a kombinace kontaktních a transportních podmínek [1].



Obrázek 4-1: Schéma základních typů objemového tváření za studena.

Základní principy technologičnosti konstrukce objemových výlisků: [1]

- * správná volba výchozího materiálu,
- * volba co největšího počtu ploch tvářených na finální tvar,
- * pro dosažení přesných a hladkých ploch se zařazuje operace kalibrování,
- * vyhnout se tvarově podobným symetrickým výliskům (boční síly),
- * omezit počet výstupků, použít kombinaci dalších technologií,
- * přechody mezi tenkými a silnými průřezy musí být plynulé,
- * zohlednění tečení kovu do redukční dutiny (plynulé přechody),
- * snížit počet blízko u sebe umístěných žeber,
- * poměr navazujících průřezů v relaci k maximální deformaci pro použitý materiál,
- * technologické roviny: respektovat požadavek stability upnutí výlisku při operacích obrábění.

Technicko ekonomická analýza objemových výlisků:

Technicko-ekonomická analýza výrobků vychází obvykle z relace hmotnosti polotovaru a jeho ceny, mzdových a provozních nákladů spolu s dobou výrobních cyklů, investičními náklady vybavení a velikostí zpracovávané série [1]:

$$N_j = G \cdot N_m + (N_z + N_t) \cdot t_c + I/Q \quad (4-1)$$

kde G – hrubá hmotnost vylisku (kg),
 N_m – jednotková cena materiálu (Kč/kg),
 N_z – náklady na mzdy (Kč/h),
 N_t – provozní náklady na tvářecí techniku (Kč/h),
 t_c – čas technologického cyklu pro 1 ks (h),
 I – investiční náklady na tvářecí techniku,
 Q – množství vyrobených polotovarů.

Náklady na objemové vylisky za studena se mění z hlediska množství materiálu jen velmi málo s růstem produkce. Největší pokles křivky způsobují náklady na tvářecí techniku. Významný pokles nákladů se projevuje u technologií s výraznějším podílem nákladů na nástroje a tvářecí techniku s vysokou produktivitou.

4.3 Metody predikce životnosti tvářecích nástrojů

Metodika predikce životnosti nástrojů pro objemové tváření za studena je ve svém postupu shodná jako pro tvářecí nástroje za tepla (popsáno v kapitole 3.2). Rozdíl je v přístupu k jednotlivým proměnným této skupiny výpočtů. Mechanické vlastnosti: mez pevnosti, mez kluzu, cyklická mez únavy mohou být zpravidla aplikovány bez ovlivnění provozní teplotou. Rozdílný přístup může být aplikován i z hlediska volby aktuálního koeficientu bezpečnosti.

Východiskem pro stanovení odhadu počtu cyklů, jako měřítka životnosti nástroje pro objemové tváření za studena, je i zde pro sestavení zjednodušeného Haighova diagramu používána GOODMANova rovnice.

4.4 Analýza technologičnosti konstrukce tvářecího nástroje

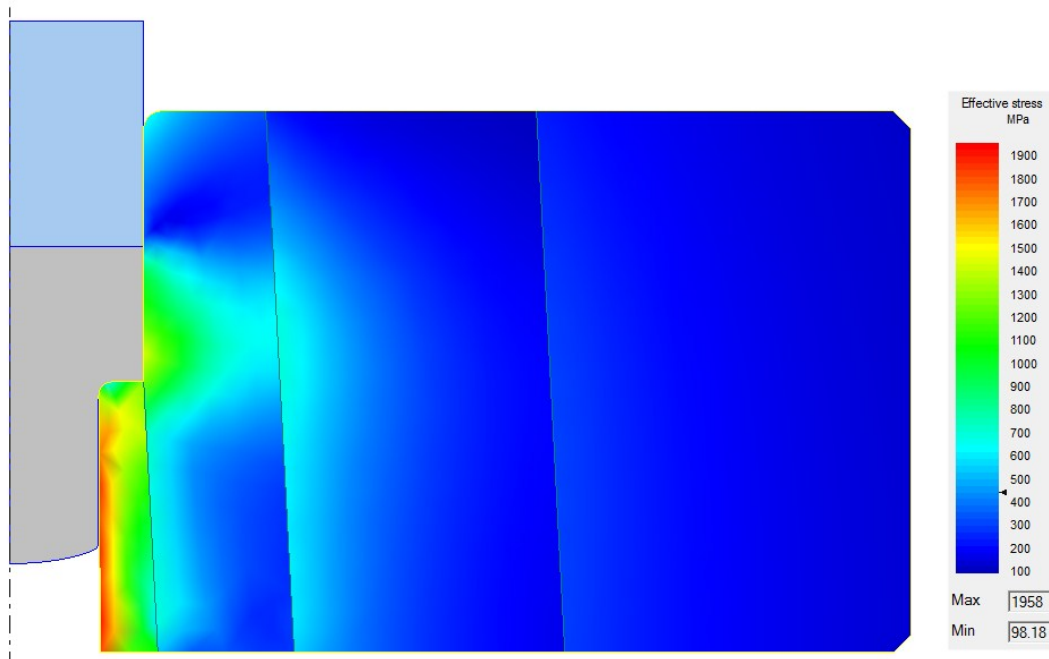
Nástroje pro technologie objemového tváření za studena, zejména exponované funkční části (průtláčnick a průtláčnice) jsou konstruovány z uhlíkových a legovaných nástrojových ocelí. V extrémních podmínkách se používají materiály zpracováváné práškovou metalurgií a některé keramické nástrojové materiály.

Dimenzování dutých částí nástrojů vychází z teorie namáhání tlakových nádob namáhaných vnitřním tlakem deformovaného polotovaru vylisku. Z hlediska konstrukčního řešení je zpravidla nutné řešit extrémní tahová napětí po obvodu dutiny nástroje. Za tímto účelem se aplikují armované sestavy zejména průtláčnic, kde správně volené přesazení průměrů průtláčnice a jedné nebo dvou zděří vyvolává předpětí snižující extrémní tahových napětí.

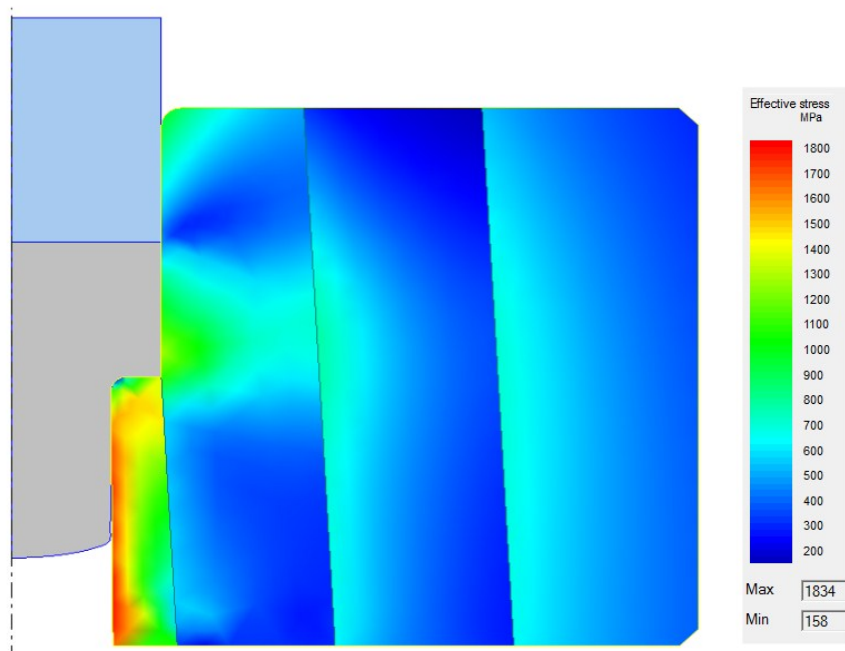
Východiskem je variace podmínky, že každá z nádob je využita v maximální míře vzhledem k jejímu dimenzování a vlastnostem použitého materiálu, pokud intenzita napětí na jejím vnitřním povrchu je rovna dovolenému napětí materiálu nádoby. Takto získané průměry jednotlivých komponent sestavy a jejich přesahy umožňují vyvážené a hlavně hospodárné využití vysoko pevnostních materiálů funkčních částí a konstrukčních materiálů ostatních částí sestavy nástroje [16].

Postup analýzy technologičnosti objemových vylisků za studena se s výjimkou vlivu energie ohřevu zcela shoduje s popisem pro zápusťkové kování za tepla (odst. 3.3, obr. 3-6).

Na rozdíl od klasických doporučení většinou intuitivního, proporcionálního rozdělení rozměrů dává efektivní použití vyváženého variačního výpočtu možnost významných úspor ve spotřebě materiálu nástrojů a souvisejících zdrojů. Na obrázku 4–3 je jako příklad srovnání dvou variant konstrukčního řešení nástroje dopředného protlačování.



a) varianta A – klasické dimenzování



b) varianta B – dimenzování vyvážené

Obrázek 4-2: Konstrukční varianty nástroje dopředného protlačování.

Pro variantu A je aplikována distribuce rozměrů a přesahu ploch jednotlivých částí trojdílné sestavy nástroje na základě klasického pojetí výpočtu tlakových nádob. Sestava nástroje dle varianty B je dimenzována dle iteračního výpočtu s cílem maximálního a vyváženého využití pevnostních parametrů materiálů jednotlivých částí. Z porovnání obou řešení je zřejmé nesporně vyšší využití mechanických vlastností aplikovaných materiálů u varianty B, kde je zřetelné velmi významné snížení rozměrů celé sestavy nástroje.

Ve výrobních procesech, kde jsou základem technologické procesy na bázi plastické deformace, je pro dosažení vyšší efektivity produkce rozhodující snižování spotřeby materiálu, energií a funkčních částí tvářecích nástrojů. Východiskem je návrh změny koncepce nástrojů spolu s podmínkami technologického procesu. Následuje analýza sestaveného modelu tvářecího procesu metodou konečných prvků. Úspora materiálu a energie vychází ze snížení spotřeby zejména cenově náročných materiálů tvářecího nástroje. Vyvážené dimenzování může být využito pro zvýšení životnosti nástrojových sestav a významné zvýšení efektivity nákladů na tvářecí techniku.



Shrnutí kapitoly

Výsledkem studia této kapitoly by měla být znalost základních východisek a postupu komplexního hodnocení technologičnosti konstrukce objemových výlisků za studena. Neoddělitelné je rovněž využití nových metod v konstrukci výlisků a tvářecích nástrojů s vyšší efektivitou využití náročných nástrojových materiálů.



Kontrolní otázky

1. Popište hlavní přednosti a cíle objemového tváření za studena.
2. Jaká minimální hodnota kontrakce je doporučována pro objemové tváření za studena?
3. Uveďte přibližnou mezní hodnotu deformace objemového výlisku bez nutnosti mezioperačního žíhání.
4. Definujte základní principy technologičnosti konstrukce objemových výlisků.
5. Jaké materiály se používají pro konstrukci exponovaných částí nástrojů pro objemové tváření za studena?
6. Popište způsob eliminace extrémů napětí v konstrukci lisovacích nástrojů.
7. Definujte metodiku a cíle dimenzování složených lisovacích nástrojů.

5 Technologičnost konstrukce plošných výlisků

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- hodnotit nákladové náročnosti různých metod plošného tváření z hlediska spotřeby materiálu, nástrojů, času a energie.
- Získáte poznatky o metodách hodnocení životnosti tvářecích nástrojů plošného tváření a jejich predikce.

Budete umět

Budete schopni:

- z hlediska jednotlivých způsobů plošného tváření osvětlit dopady změn konstrukce plošného výlisku a nástroje s cílem minimalizace spotřeby aplikovaných zdrojů.

Budete schopni



Výklad

5.1 Úvod

Racionální konstrukce polotovarů pro technologie plošného tváření za studena musí vycházet ze znalosti současných metod lisování plechu, jejich přínosů a rozsahů použití. Výlisky zhotovené technologiemi plošného tváření – stříháním, ohýbáním, tažením – se používají zejména ve výrobě polotovarů pro stavbu celé škály zařízení. Základními výhodami výlisků z plechu je poměrně nízká pracnost, malá hmotnost, dobré mechanické vlastnosti, získané přetvořením za studena a lze tak vyrábět složité tvary, které nelze jinými metodami výroby hospodárně dosáhnout. Jedním ze základních cílů operací plošného tváření je dodat požadovaný tvar polotovaru při homogenním rozložení mechanických vlastností v objemu výlisku. U polotovarů zhotovovaných plošným tvářením je ve srovnání s objemovými výlisky nutné respektovat další hlediska tvařitelnosti dané vstupními polotovary, které významným způsobem ovlivňují spotřebu materiálu a geometrické a technologické parametry lisování [1].

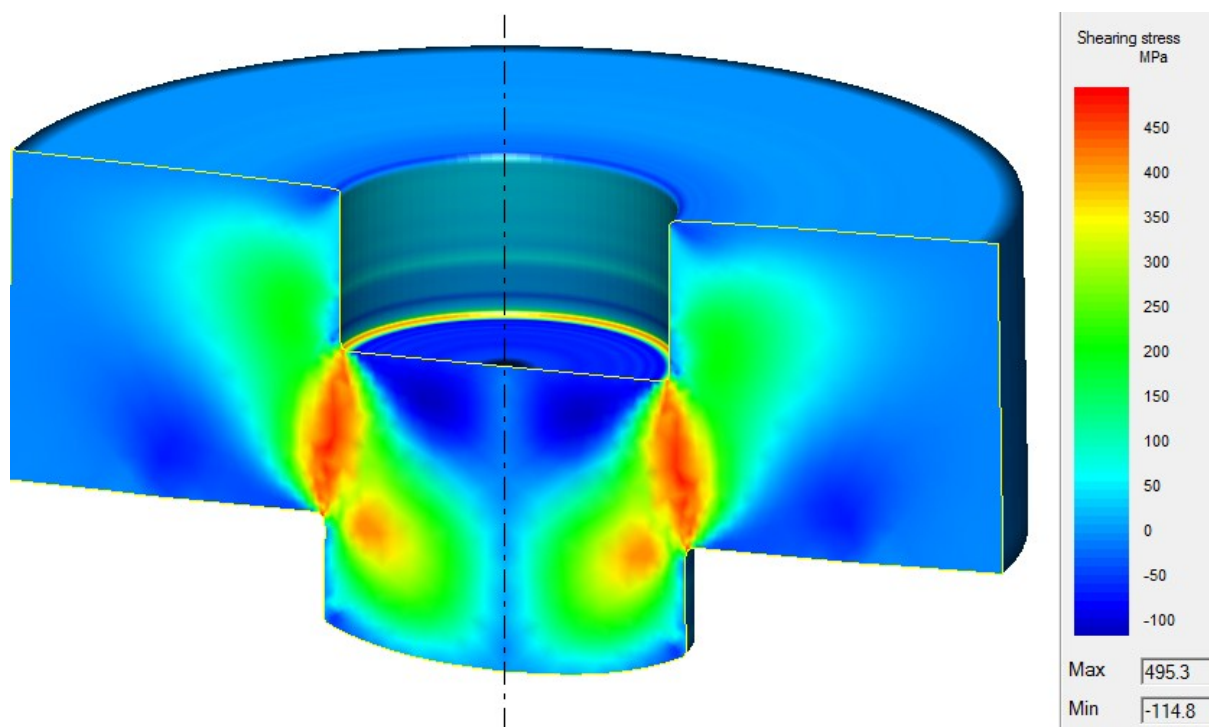
Růst velikosti produkce a její kvality představuje růst nákladů na výrobní techniku a aplikace metod změn konstrukce výrobku a nástrojů pak představuje cestu snižování spotřeby materiálových a energetických zdrojů.

5.2 Plošné tváření

Užitím technologie plošného tváření konečný tvar výlisku obdržíme v jedné nebo několika operacích. Zpravidla jsou pro vstupní polotovary – pás nebo tabule plechu – voleny kombinace základních metod postupně a liniově za sebou. Nutnost postupné změny tvaru vyplývá z nutnosti kontroly toku materiálu v částech nástroje, pro dodržení velikosti deformace a při jejím pokud možno homogenním rozložení zajistit vyrovnaný stav výsledných mechanických vlastností. Obecně lze postulovat, že se většina odchylek tvarové a rozměrové přesnosti výlisků z plechu a nehomogenit vlastností materiálu týkají nestabilit materiálových vlastností, složitosti geometrie toku materiálu v nástroji a idealizované představy dvourozměrného stavu deformace nebo napjatosti [1].

5.3 Stříhání a vystřihování

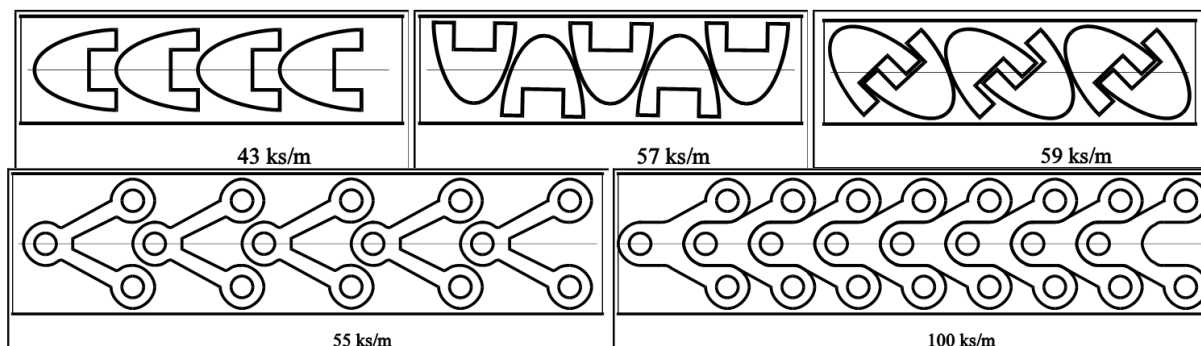
Technologie stříhání a vystřihování se provádí působením dvojice střížných hran působících ve směru kolmém k plechu v komplexních střížných nástrojích na mechanických nebo hydraulických lisech. Během průniku střížných hran podél tloušťky polotovaru se vyvíjí obecně prostorový stav deformace podle reálných podmínek plasticity (obrázek 5-1).



Obrázek 5-1: Pole smykového napětí mezi střížnými hranami.

Následkem toho vzniká nepravidelný tvar střížné plochy podél tloušťky plechu, který významně ovlivňuje rozměrovou a tvarovou přesnost výlisku včetně dalších, zejména materiálových vlastností v okolí střížné hrany.

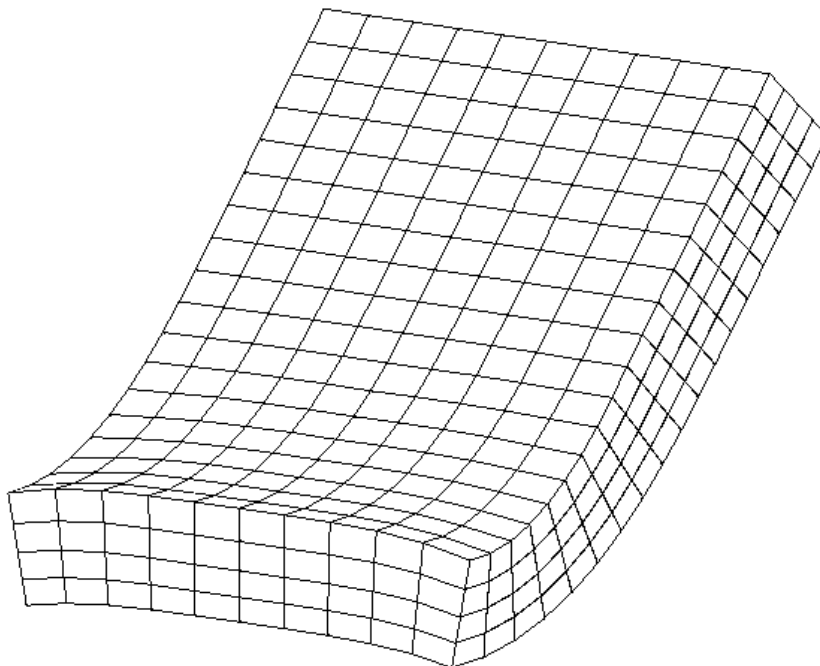
Podíl nákladů na materiál výstřižků tvoří $80 \div 90\%$ celkových nákladů na vstupní polotovar. Proto klíčový princip technologičnosti konstrukce takových výlisků je optimální nástřihový plán, který uspořádáním a vhodnými změnami konstrukce minimalizuje objem odpadu a významně zvyšuje efektivitu výroby. Obrázek 5-2 znázorňuje využití polotovaru v počtech kusů na jednotku délky pásu plechu pro různé varianty konstrukčně technologických změn [1].



Obrázek 5-2: Varianty nástřihového plánu [1].

5.4 Ohýbání plechu

Ohýbání je tvářecí operace, při níž se zachovává rovnoběžnost stěn a změna křivosti nastává na ohybové hraně. Při ohýbání plechů a profilů je opět klíčová spotřeba materiálu, proto je nutné vedle popsaných nestabilit věnovat velkou pozornost stanovení rozvinutého tvaru a nástřihovému plánu z hlediska efektivity využití vstupního polotovaru [1].

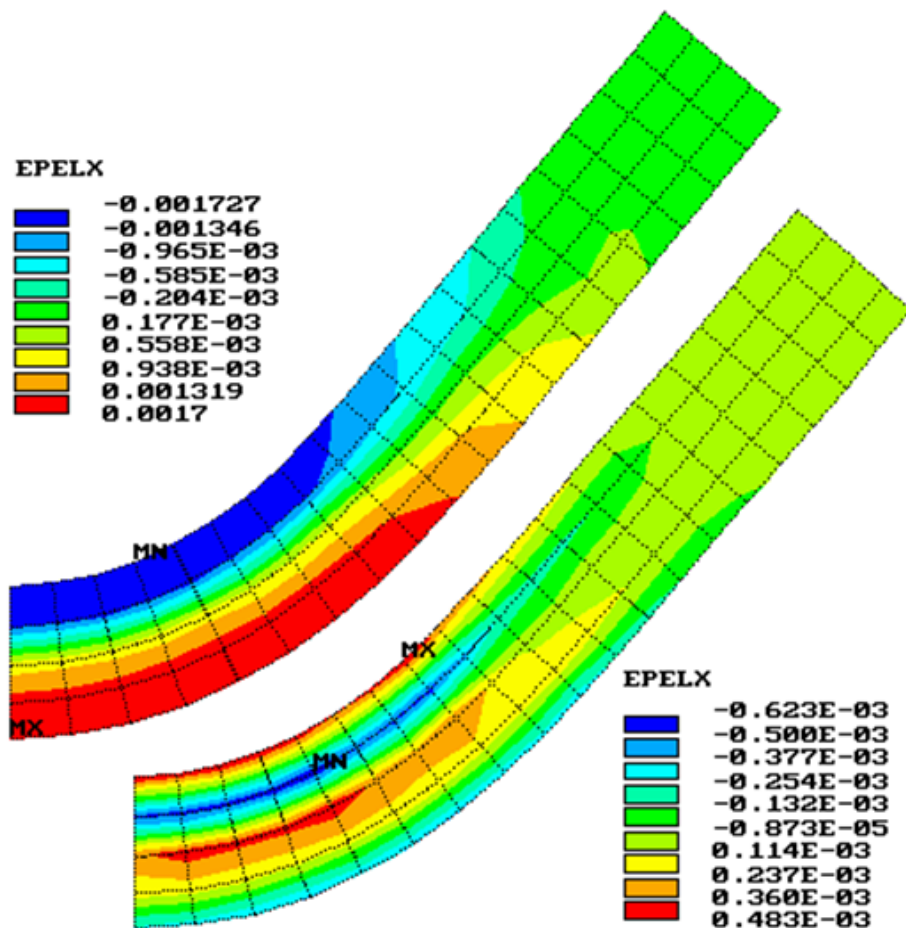


Obrázek 5-3: Změny tvaru na okrajích šířky ohýbaného polotovaru.

V ohýbaném plechu nastává obecně prostorový stav deformace a napjatosti (obrázek 5–3), který po odlehčení doprovází odpružení materiálu (obrázek 5–4). Oba tyto jevy je nutné při konstrukci ohýbaného výlisku respektovat a zohlednit. Míru odpružení lze teoreticky kontrolovat podle vztahu geometrických a materiálových proměnných:

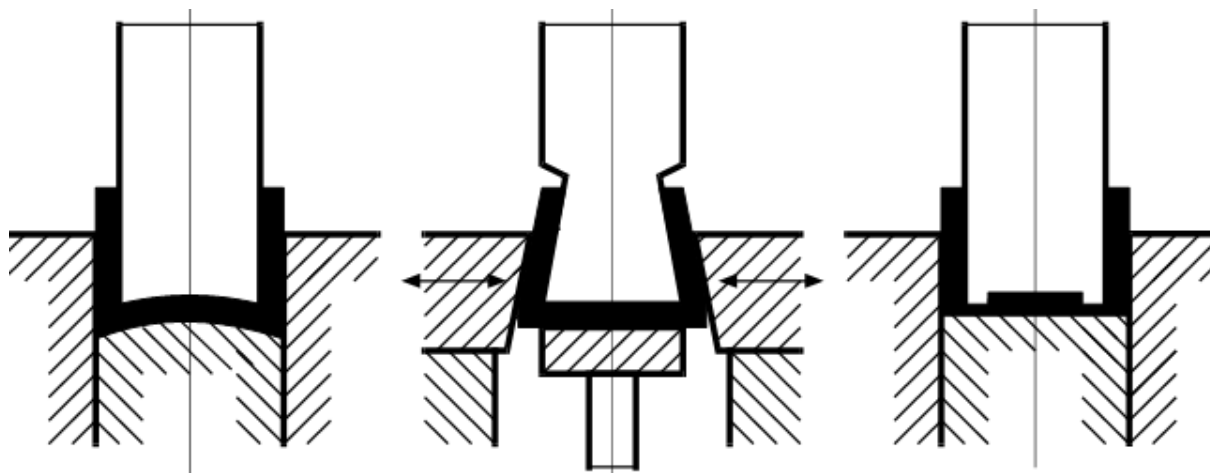
$$\beta_z = \beta \frac{R_n \sigma_p}{E \cdot t} \left(3 - \frac{t_e^2}{t^2} \right), \quad (5-1)$$

kde β_z – úhel odpružení (deg),
 β – úhel ohybu (deg),
 R_n – poloměr neutrální plochy (mm),
 σ_p – přetvárný odpor materiálu (MPa),
 E – modul pružnosti materiálu (MPa),
 t_e – tloušťka vrstvy deformované pružně (mm),
 t – celková tloušťka ohýbaného polotovaru,



Obrázek 5-4: Pole tečné deformace před (nahore) a po odlehčení (dole).

Vzhledem k nehomogenitě materiálových vlastností a tedy i vývoje geometrických proměnných lze tento výpočet nazírat jen jako odhadní pro technologické a konstrukční změny eliminující důsledky odpružení (obrázek 5-5).

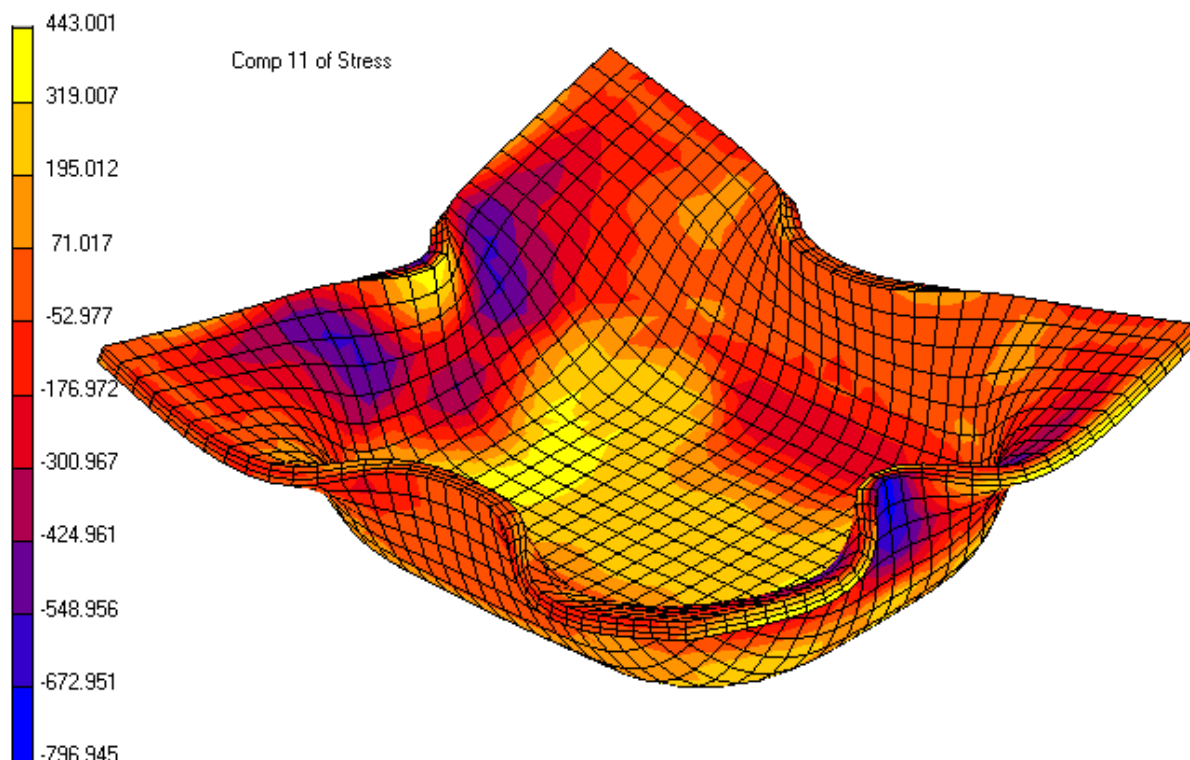


Obrázek 5-5: Technologická a konstrukční opatření eliminující odpružení [1].

5.5 Tažení plechu

Tažení plechu je metoda s intenzivním přetvořením materiálu probíhající v jedné nebo několika operacích. První tah probíhá v tažnici zpravidla z rovinného polotovaru, jehož tvar a rozměr vychází z tvaru a rozměrů finálního tvaru výtažku nebo polotovaru pro následující operaci. Ve všech operacích tažení plechu je použití přidržovače dáno relací součinitele tažení, tedy poměru rozměru výchozího a následného tvaru, k tloušťce a materiálovým vlastnostem plechu. Reálné procesy tažení plechu musí dále respektovat konkrétní transportní a kontaktní podmínky toku materiálu v nástroji. Mezní hodnoty součinitele tažení jsou dány rozměry tloušťkou vstupního polotovaru a materiálovými vlastnostmi. Síla působící na přidržovač je pak regulována tak, aby zabránila tvorbě zvlnění okrajů příruby taženého výlisku a zároveň nedocházelo k jeho porušení. Při tažení plechu vzniká složitý stav deformace a napjatosti vlivem postupného vývoje obecně dvou dějů, tažení se zužováním od okraje příruby výlisku přes tažnou hranu a tažení s rozšiřováním přes hranu tažníku k oblasti dna výtažku. Jednoduchost tvaru a plynulost přechodů jednotlivých geometrických prvků mají značný vliv na kvalitu a efektivitu technologie tažení [1].

Relativní tvarová a technologická jednoduchost rotačních výtažků se zpravidla stává východiskem konstrukčního řešení výlisků složitějších tvarů. Ve všech případech plošného tváření, zejména v případě hlubokého tažení plechu je nutné respektovat reálnou anizotropii mechanických vlastností plechu danou technologií výroby vstupního polotovaru. Při tvorbě nástřihových plánů a konstrukci výlisků z plechu je nutné zohlednit vliv anizotropie zejména na vývoj deformací. To má zásadní vliv na spotřebu materiálu při tažení plechu, protože přídavky aplikované k eliminaci nestejných změn v různých částech polotovaru musí být proti izotropním podmínkám znatelně větší.

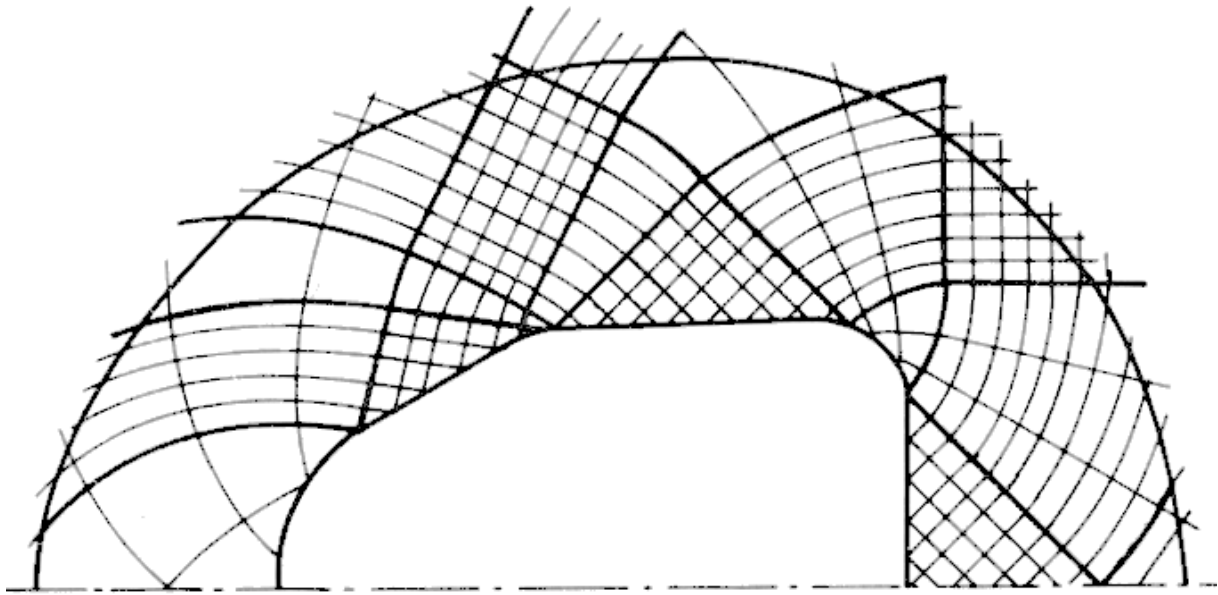


Obrázek 5-6: Tvarová nestabilita toku materiálu nepravidelného výtažku.

Při tažení výtažků nepravidelných tvarů se objevují technologické obtíže, s nimiž se u jednoduchých rotačních tvarů nevyskytují. Zpravidla jde o nespojitosti a nestabilní průběh tažení vlivem rozdílného charakteru toku materiálu přes tažnou hranu. U nerotačních tvarů polotovary taženy většinou jen v místech zaoblených hran orientovaných do směru pohybu tažného nástroje. Charakter deformace ostatních částí pak odpovídá spíše ohybu, přetažením přes hranu tažnice. Situaci znázorňuje obrázek 5–6, materiál v rozích obdélníkového výtažku je vtahován přes hranu znatelně pomaleji. Naznačený mechanismus vytváří významnou nestabilitu geometrie a stavu napjatosti, která vede k nehomogenitě výsledných materiálových vlastností vylisku [1].

Při tažení nerotačních tvarů je pak nutno hledat vhodný tvar přístřihu, nejčastěji intuitivně, např. odstraněním rohů vstupního polotovaru v blízkosti rohů budoucího vylisku. Existují normativní metody konstrukce výchozího přístřihu, které geometrii okraje polotovaru stanovují nejčastěji geometrickým způsobem v závislosti na linii tažné hrany vylisku. Jsou používány některé sofistikované metody, vyvinuté např. na základě teorie kluzových čar formou trajektorií maximálních smykových napětí (obrázek 5–7) [17].

Metoda konstrukce optimálního tvaru přístřihu vychází z teoretické podmínky stejného směru hlavního obvodového napětí a tečny linie okraje příruby taženého vylisku. Úhel k trajektorii maximálního smykového napětí je pak podél okraje vždy 45° . Potřebná vzdálenost od tažné hrany se pak odvíjí od minima potřebné velikosti příruby v místě rohu výtažku s nejmenším poloměrem zaoblení. Je zřejmé, že metody s rostoucí efektivitou využití přístřihu přinášejí i odpovídající zvýšení nákladů na jeho výrobu [17].

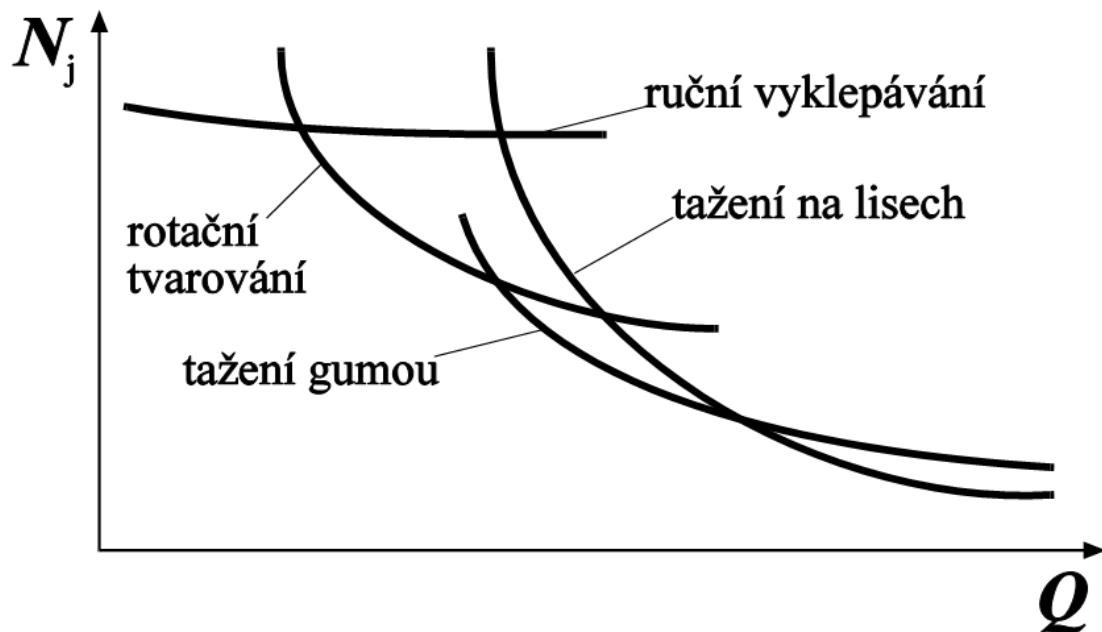


Obrázek 5-7: Pole kluzových čar v přírubě výtažku nerotačního tvaru [17].

5.6 Technickoekonomická analýza plošných výlisků

Technicko-ekonomická analýza výrobků vychází obvykle z relace hmotnosti polotovaru a jeho ceny, mzdových a provozních nákladů spolu s dobou výrobních cyklů, investičními náklady vybavení a velikostí zpracovávané série (obrázek 5-6).

Náklady na plošné výlisky za studena se mění z hlediska množství materiálu velmi významně s růstem produkce. Pro graf na obrázku 5-8 je i zde platná rovnice (4-1) z předchozí kapitoly. Největší pokles křivky nákladů je však dán náklady na tvářecí techniku, zejména ve spojení s vysokou produktivitou [1].



Obrázek 5-8: Relace nákladů a velikosti produkce technologií plošného tváření [1].

5.7 Metody predikce životnosti tvářecích nástrojů

Metodika predikce životnosti nástrojů pro plošné tváření za studena se ve svém postupu opět shoduje s objemovým tvářením za tepla (popsáno v kapitole 3.2). Rozdíl spočívá v přístupu k jednotlivým proměnným této skupiny výpočtů. Mechanické vlastnosti: mez pevnosti, mez kluzu, cyklická mez únavy jsou zpravidla i zde aplikovány bez ovlivnění provozní teplotou. Největší rozdíl však bude v pojetí mechanismu degradace. Technologie plošného tváření, zejména stříhání a vystřihování, budou provázeny zejména abrazivním opotřebením, kde na rozdíl oproti mechanickému namáhání bude nutné analyzovat vliv tlaku a rychlosti toku materiálu v kontaktu s nástrojem.



Shrnutí kapitoly

Výsledkem studia této kapitoly by měla být znalost základních východisek a postupu komplexního hodnocení technologičnosti konstrukce plošných výlisků za studena. Neoddělitelné je rovněž využití nových metod v konstrukci výlisků a tvářecích nástrojů s vyšší efektivitou využití materiálu a energií.



Kontrolní otázky

1. Popište hlavní přednosti a cíle plošného tváření.
2. Jmenujte hlavní příčiny odchylek vznikajících při plošném tváření.
3. Jakou hlavní metodu minimalizace spotřeby plošných polotovarů znáte?
4. Které dva hlavní jevy je nutné zohlednit v konstrukci ohýbaných výlisků?
5. Jaké veličiny tvoří základ odhadu velikosti odpružení?
6. Jmenujte některá opatření eliminující odpružení.
7. Které parametry tažení plechu determinují požití přidržovače?
8. Jaké formy toku materiálu se účastní hlubokého tažení plechu?
9. Která z vlastností ovlivňuje velikost přídávku polotovaru z plechu při hlubokém tažení?
10. Jmenujte některé postupy v konstrukci vhodných tvarů přístřihu pro hluboké tažení plechu.
11. Popište dominantní mechanismy opotřebením lisovacích nástrojů.



Prameny

Literatura ke kapitolám 1 až 5

- [1] SKARBINSKI, M. SKARBINSKI J. *Technologickosť konštrukcie strojov*. 1. vydání. Bratislava: Alfa, 1982. 490 s. ISBN 63-161-82
- [2] MURÁNSKY, J. *Automatizácia technickej prípravy strojárskej výroby*. 1. vydání. Bratislava: ALFA 1981. 376 s. ISBN 63-236-80
- [3] BÉKÉS, J., ANDONOV, I. *Analýza a syntéza strojárskych objektov a procesov*. 1. vyd. Bratislava: ALFA, 1986. 376 s.
- [4] PETRUŽELKA, J., SONNEK, P. *Tvařitelnost kovových materiálů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006, 184 s.
- [5] DIETER, G. E. KUHN, H. A. SEMIATIN, S. L. *Handbook of Workability and Process Design*. ASM International. 2003
- [6] HOSFORD, W.F. CADDEL R.M. *Metal Forming, Mechanics and Metallurgy*. 2nd ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ 07632, 1993
- [7] DOEGE, E.; MEYER-NOLKEMPER, H.; SAAED, I. *Fleisskurvenatlas metallischer Werkstoffe*. Leipzig: Fachbuchverlag 1999
- [8] HRIVŇÁK, I. *Zvariteľnosť kovov a zliatin*. Bratislava: Vydavateľstvo slovenskej akadémie vied 1989
- [9] CHILDS, T.H.C., MAEKAWA, K., OBIKAWA, T., YAMANE, Y. *Metal Machining – Theory and application*, 2000, ISBN 0 470 39245 2
- [10] FU, M. W. SHANG, B. Z. Stress analysis of the precision forging die for a bevel gear and its optimal design using the boundary element method. *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 53, pp 511-520, (1995).
- [11] NĚMEC, J. *Tuhosť a pevnosť ocelových súčastí*. Praha 1963. Nakladatelství Československé akademie věd. vyd. 2. 771 s.
- [12] PETRUŽELKA, J. HRUBÝ, J. CARBOL, P. Analýza životnosti tváracích nástrojů. In: *Sborník přednášek 5. mezinárodní konference Nástroje ITC 2006*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství, 2006, p. 1-12 (CDROM), ISBN 80-7318-448-6
- [13] ASM Handbook, Vol. 19, fatigue and fraction. ASM International. 1996. Product Code 06197G. ISBN 0-87170-385-8, 341 p.
- [14] ESPER, F. J. SONSONIO, C. M. Fatigue Design for PM components. European Powder Metalurgy Association. Shewbury, UK 1997.
- [15] BANNANTINE, J. A. et al. *Fundamentals of Metal Fatigue Analysis*. New Persey: Prentice Hall 1990.
- [16] ŠTĚPÁNEK, K.; KOZÁK, P. Strojírenství, 37, 1987, s. 482.
- [17] TIŠNOVSKÝ, M.; MÁDLE, L. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL 1990, 200 s.



Kontrolní otázky

Otázky testů ke kapitolám 1 až 5:

1. Čím je charakterizována technologická konstrukce?
2. Popište rozdělení základních skupin úloh metodiky konstruování.
3. Které skupiny činností se podílí na řešení konstrukční úlohy?
4. Sestavte hlavní části tvořící systém technické přípravy výroby.
5. Definujte hlavní principy technologičnosti konstrukce.
6. Sestavte základní algoritmus technologické přípravy výroby.
7. Jakou formou se nejčastěji vyjadřují fyzikální a mechanické vlastnosti těles?
8. Jmenujte hlavní veličiny používané pro popis materiálových vlastností.
9. Jaká aproximační funkce se zpravidla používá pro popis přetvárného odporu?
10. Uveďte nezávisle proměnné funkce přetvárného odporu.
11. Popište některé metody umožňující modelovat nehomogenitu kontinua.
12. Uveďte hlavní termín používaný pro označení skupiny technologických vlastností odlévaných materiálů.
13. Který hlavní termín je používán pro skupinu vlastností svařovaných materiálů?
14. Jmenujte hlavní termín používaný pro charakterizaci technologických vlastností obráběných materiálů.
15. Uveďte termíny používané pro hodnocení technologických vlastností objemově tvářených materiálů.
16. Které hlavní termíny jsou používány pro hodnocení technologických vlastností plošně tvářených polotovarů?
17. Jakým způsobem ovlivňuje obsah uhlíku v ocelích interval tvářecích teplot?
18. Jaká průměrná velikost zrna v ocelích je doporučována pro objemové tváření za studena?
19. Jaký poměr meze kluzu a meze pevnosti je vhodný pro objemové tváření ocelí za studena?
20. Popište hlavní přednosti a cíle zápusťkového kování za tepla.
21. Jak ovlivňuje růst velikosti produkce strukturu a velikost nákladů?

22. Jmenujte základní principy technologičnosti konstrukce výkovků.
23. Z kterých parametrů vychází technickoekonomická analýza zápusťkového kování?
24. Popište východiska predikce životnosti tvářecích nástrojů.
25. Které formy cyklického namáhání znáte?
26. Definujte relaci vyjádřenou Haighovým diagramem.
27. Které body Haighova digramu spojuje linie zatěžování?
28. Jaké parametry slouží pro odhad počtu cyklů zápusťkového kování?
29. Popište rámcový postup analýzy technologičnosti výkovku.
30. Popište hlavní přednosti a cíle objemového tváření za studena.
31. Jaká minimální hodnota kontrakce je doporučována pro objemové tváření za studena?
32. Uveďte přibližnou mezní hodnotu deformace objemového výlisku bez nutnosti mezioperačního žíhání.
33. Definujte základní principy technologičnosti konstrukce objemových výlisků.
34. Jaké materiály se používají pro konstrukci exponovaných částí nástrojů pro objemové tváření za studena?
35. Popište způsob eliminace extrémů napětí v konstrukci lisovacích nástrojů.
36. Definujte metodiku a cíle dimenzování složených lisovacích nástrojů.
37. Popište hlavní přednosti a cíle plošného tváření.
38. Jmenujte hlavní příčiny odchylek vznikajících při plošném tváření.
39. Jakou hlavní metodu minimalizace spotřeby plošných polotovarů znáte?
40. Které dva hlavní jevy je nutné zohlednit v konstrukci ohýbaných výlisků?
41. Jaké veličiny tvoří základ odhadu velikosti odpružení?
42. Jmenujte některá opatření eliminující odpružení.
43. Které parametry tažení plechu determinují požití přidržovače?
44. Jaké formy toku materiálu se účastní hlubokého tažení plechu?
45. Která z vlastností ovlivňuje velikost přídavku polotovaru z plechu při hlubokém tažení?
46. Jmenujte některé postupy v konstrukci vhodných tvarů přístřihu pro hluboké tažení plechu.
47. Popište dominantní mechanismy opotřebení lisovacích nástrojů.

6 Ocelové konstrukce

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- identifikovat jednotlivé typy svařovaných ocelových konstrukcí.
- Získáte informace o výrobě ocelových konstrukcí a technologické přípravě výroby.

Budete umět

Budete schopni:

- řešit problematiku výroby svařovaných ocelových konstrukcí.

Budete schopni



Výklad

6.1 Úvod

Za technologickou konstrukci stroje považujeme takové provedení, které splňuje základní požadavky týkající se jeho funkce (výrobnost, ekonomika, efektivnost apod.) a současně splňuje požadavky z hlediska jeho výroby (malá hmotnost, malé náklady na výrobu při stále velikosti produkce, výběr nejvhodnějších materiálů) a jeho použití (spolehlivost, snadná opravitelnost a ovládání) atd.

Je nutné pozorně promýšlet souvislosti a vazby mezi jednotlivými teoretickými poznatky, konstrukčními a technologickými principy.

6.2 Základní problémy

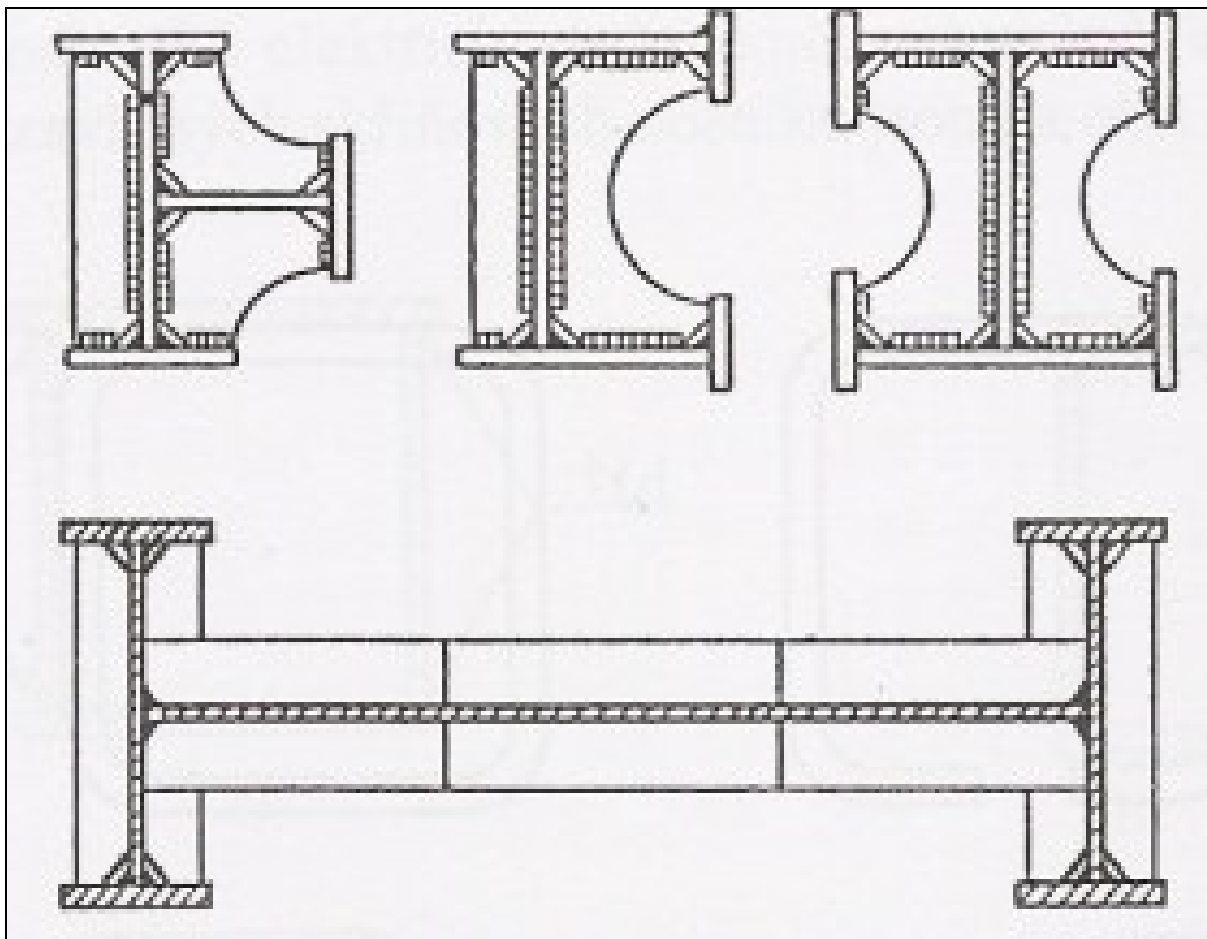
Svařované konstrukce a technická zařízení zauímají v současných technických prostředcích klíčové postavení. Svařované konstrukce nebo zařízení musí být navrženy a provedeny tak, aby byly schopny užívání k požadovanému účelu po celou dobu předpokládané životnosti.

Ocelové konstrukce se provádějí téměř výhradně jako svařované, protože řadu konstrukcí není možno bez svařování, buď vůbec realizovat, nebo jen s velkými potížemi a náklady. Svařování nám významně přispívá k realizaci úspor materiálu a energie, ke snižování hmotnosti výrobků a zlepšení jejich užitných vlastností.

Při návrhu ocelové konstrukce je nutné zohlednit řadu faktorů. Zásadní roli zde hraje výběr vhodného materiálu, který je ovlivněn mnoha faktory – charakterem namáhání (statické, dynamické, termodynamické), intenzitou namáhání, požadavky na deformace, vlivem prostředí (agresivita vod, půdy, ovzduší), účelem použití a v neposlední řadě také

technologičností konstrukce. Rozhodující strojírenskou technologií u ocelových konstrukcí je svařování, tzn. svařitelnost materiálu. Svařování ocelových konstrukcí je proces nevratný, který vyžaduje proces validace (ověření provádění svarů) přímo ve výrobě. Tím se stává výroba ocelových konstrukcí tzv. regulovanou oblastí, kde je nutno přísně dodržovat zásady a potup výroby s možností kontroly [24].

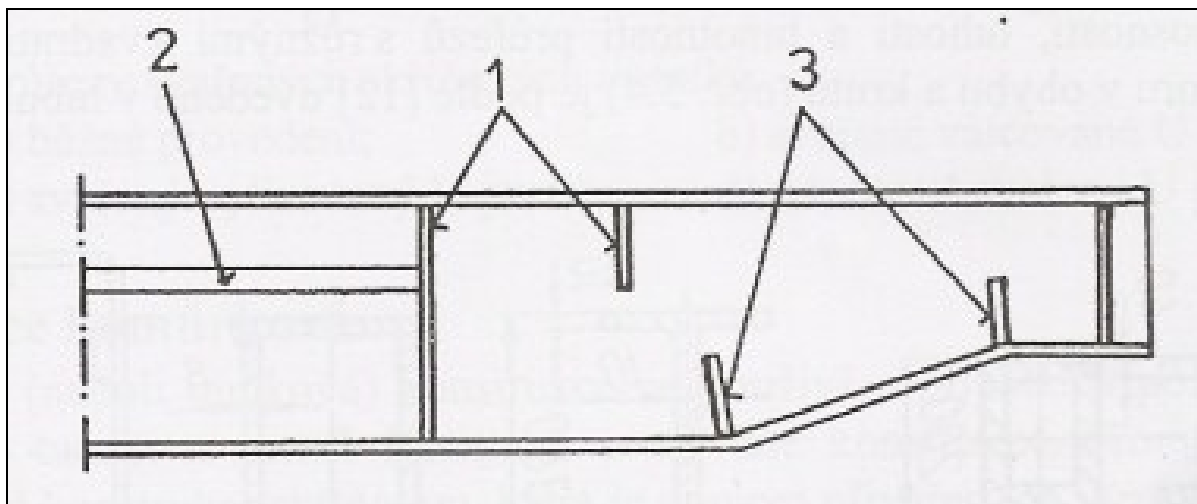
6.3 Metodika konstruování



Obrázek 6-1: Deskové typy konstrukcí [86].

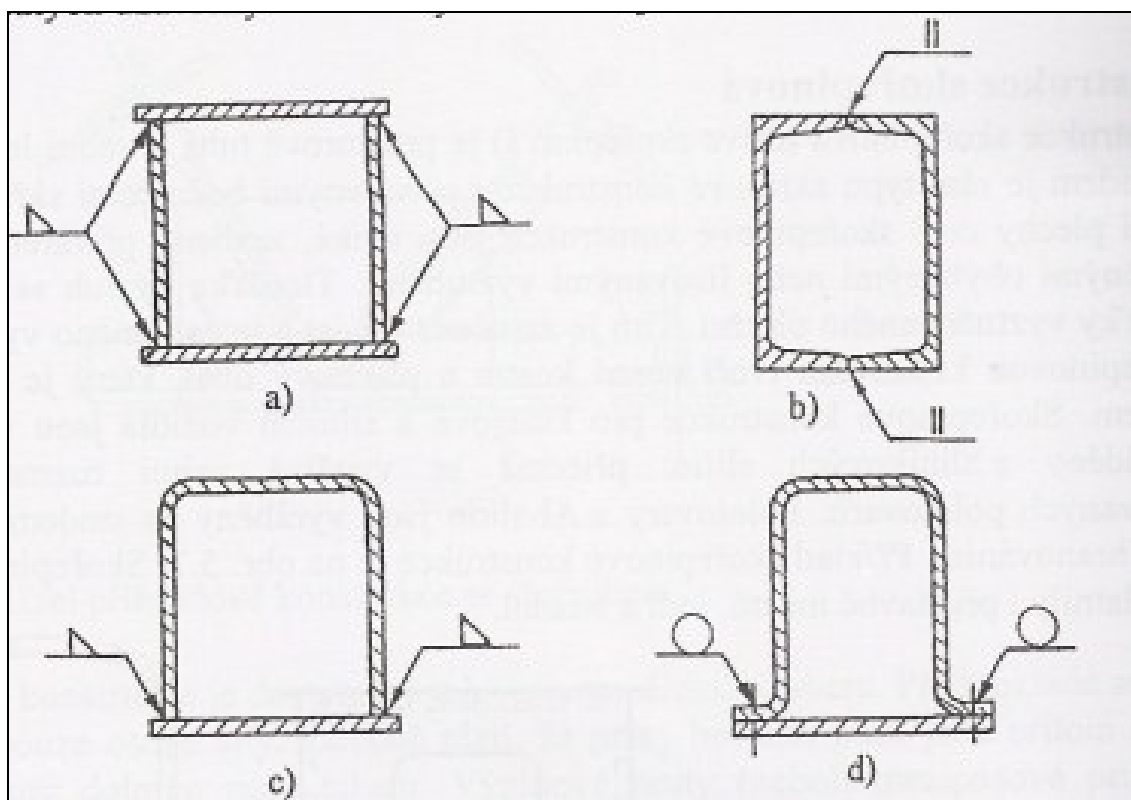
Při návrhu svařované konstrukce je nutno vzít v úvahu zejména tyto činitele:

- **Požadavky na funkci**, tj. úloha jakou má konstrukce plnit.
- **Požadavky norem**, předpisů a technických podmínek na výrobek. Např. norma pro tlakové nádoby.
- **Provozní podmínky**, zejména druh zatížení (statické, dynamické, rázem), druh namáhání (tahem, tlakem, smykem, ohybem, krutém, kombinované), teplota (zvýšená, snížená, kryogenní), míra nebezpečí lomu únavového nebo křehkého, korozní prostředí, eroze, abraze.
- **Požadavky na jakost** svařované konstrukce.
- **Požadavky na bezpečnost provozu**, závažnost následků případné havárie.



Obrázek 6-2: Plnostěnný nosník I profilu s výztuhami (1 – příčná, 2 – podélná, 3 – ke zvýšení únosnosti ve vzpěru) [86].

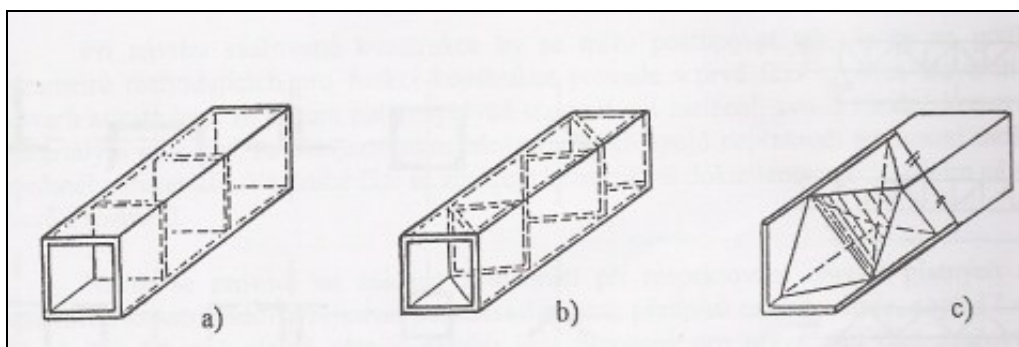
- **Materiál** a jeho mechanické a další vlastnosti. Chemické složení, způsob výroby a odlévání oceli (zejména čistota oceli), způsob tváření polotovarů) např. s ohledem na vznik lamelárních trhlin), svařitelnost (ukazatel celistvosti a ukazatel mechanických vlastností) [89].
- **Způsob výroby.** Nutno vzít v úvahu nejen svařování, ale všechny výrobní a kontrolní operace se svařováním související. Tepelné zpracování před a po svaření, příprava svarových úkosů, metoda svařování (zbytkové napětí a deformace), technologie svařování (možnost mechanizace a automatizace, hloubka závaru, vnesené teplo do svaru) [92].



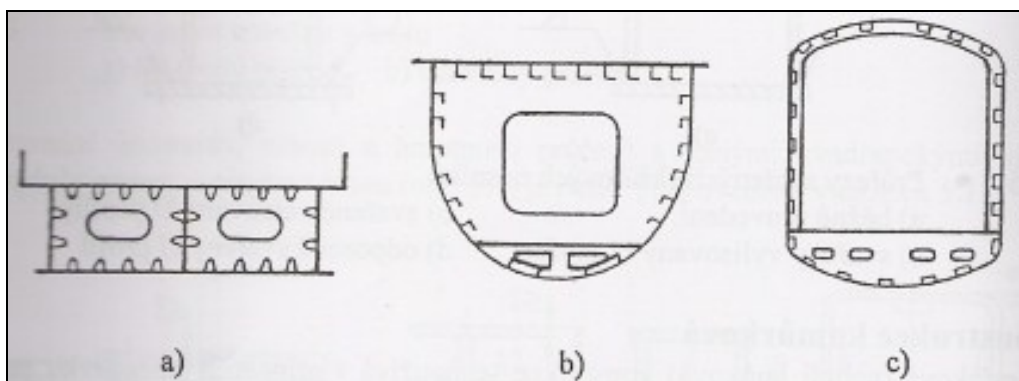
Obrázek 6-3: Průřezy svařených skříňových nosníků (a) běžné provedení, b) svařené válcové U profily, c) svařené vylisovaný U profil, d) odporově svařený U profil) [86].

- **Estetická hlediska** s ohledem na umístění svařované konstrukce (např. venkovní, uvnitř budov; stacionární, pohyblivá).
- **Hutní polotovary**, jejich dodávaný sortiment.
- **Přídavné svařovací materiály**, jejich dodávaný sortiment.
- **Svařovna** výrobního závodu, její vybavení svařovacími stroji a přípravky, technické a personální možnosti.
- **Počet vyráběných kusů**, velikost série, opakovatelnost výroby.
- **Dodací lhůta**.
- **Ekonomická hlediska**, hospodárnost výroby.

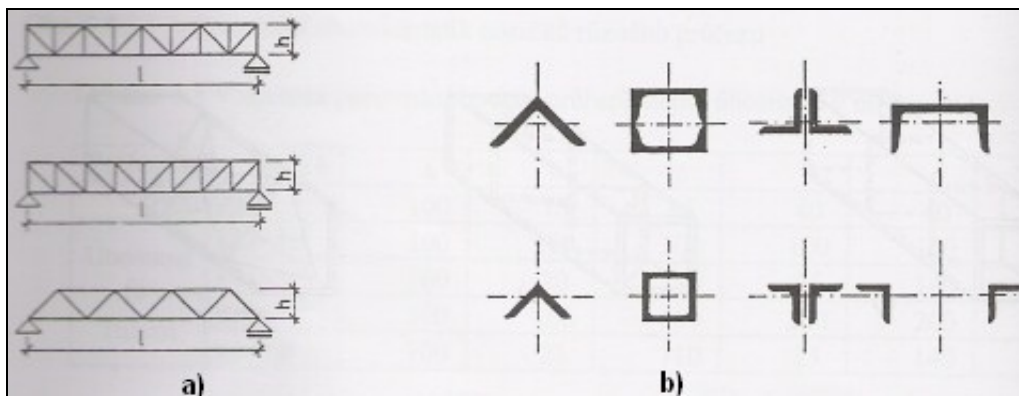
Jednotlivé typy konstrukcí lze rozdělit dle obrázků 6-1 až 6-6.



Obrázek 6-4: Tvar komůrkové konstrukce (a) kvádry, b) trojúhelníky, c) čtyřstěny) [86].



Obrázek 6-5: Schéma skořepinové konstrukce (a) most, b) loď, c) vagón [18].



Obrázek 6-6: Příhradové konstrukce a průřezy prutů a) příhradové konstrukce – geometrické tvary, b) průřezy prutů [86].

6.4 Technologická příprava výroby – principy návrhu konstrukcí

Jde o jednu z nejnáročnějších etap v přípravné fázi výrobního procesu. Při navrhování a technologické přípravě výroby svarových konstrukcí je nutno [18]:

Z hlediska zatěžování:

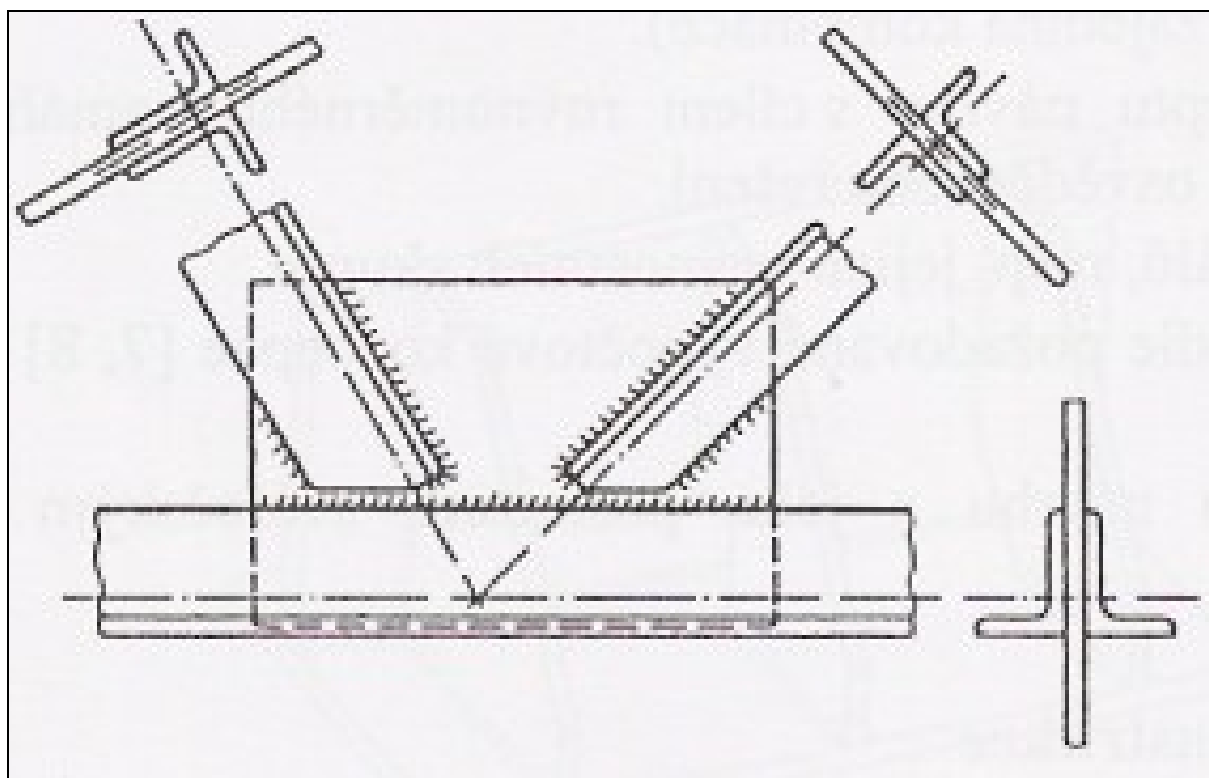
- dbát na rovnoměrný a plynulý průběh siločar ve svarovém spoji
- vyhnout se změnám tuhosti a koncentracím napětí v místě spoje

Z hlediska náchylnosti na vznik křehkého a únavového lomu:

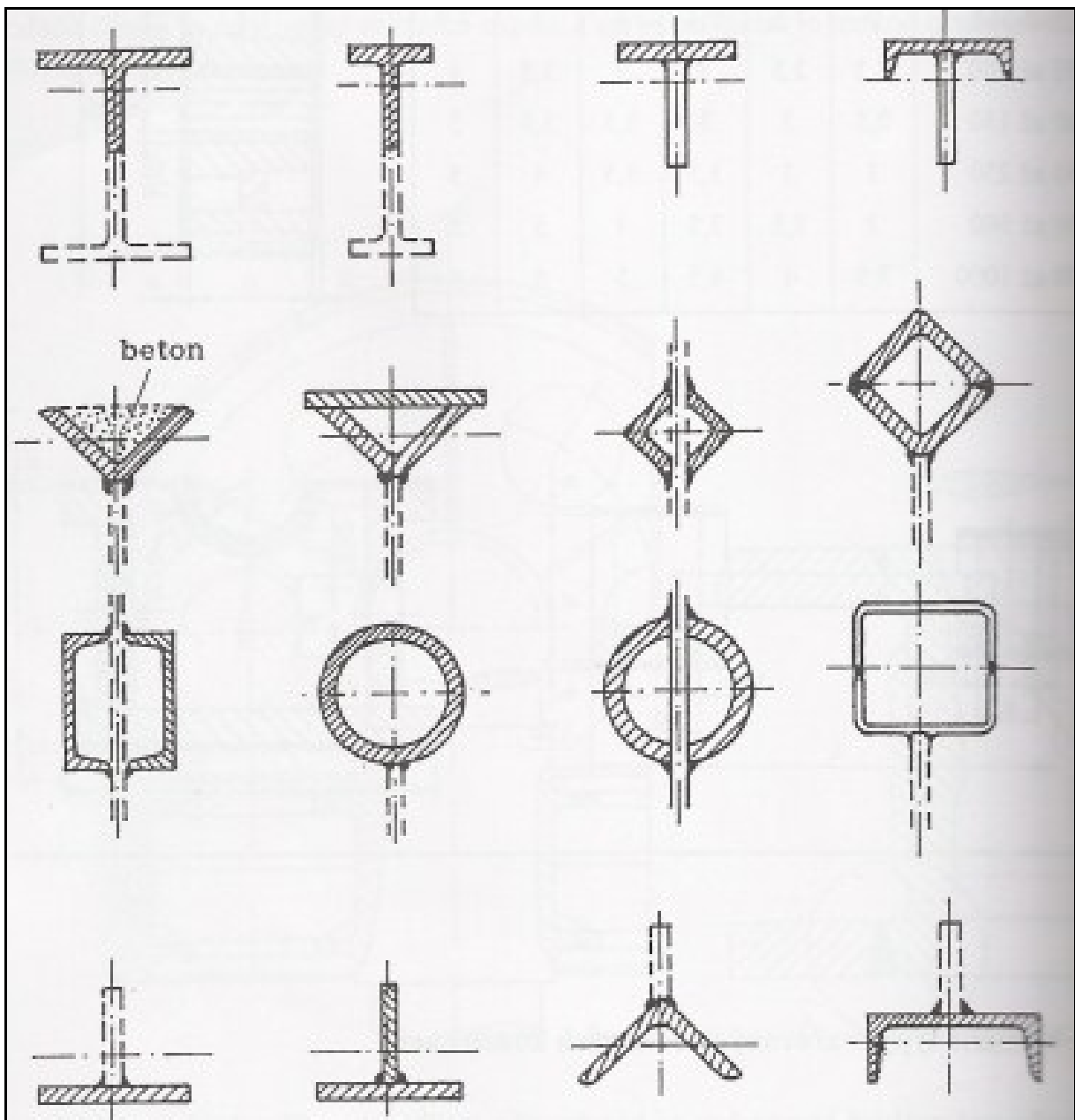
- vyhnout se víceosému stavu napjatosti od vnějšího zatížení a zbytkových napětí
- navrhnout minimální nutnou velikost svarů a aplikovat nejmenší množství vneseného tepla na jednotku délky svaru
- vyhnout se křížení a hromadění svarových spojů

Z hlediska smrštění, deformací a zbytkových napětí:

- navrhnout symetrické umístění svarů vzhledem k těžištní ose svarku
- zohlednit konstrukční a technologické opatření minimalizující vznik zbytkových napětí a deformací
- vypracovat plán postupu svařování, podskupiny vyrovnat před svařením do celků



Obrázek 6-7: Uzel příhradové konstrukce se styčником [86].



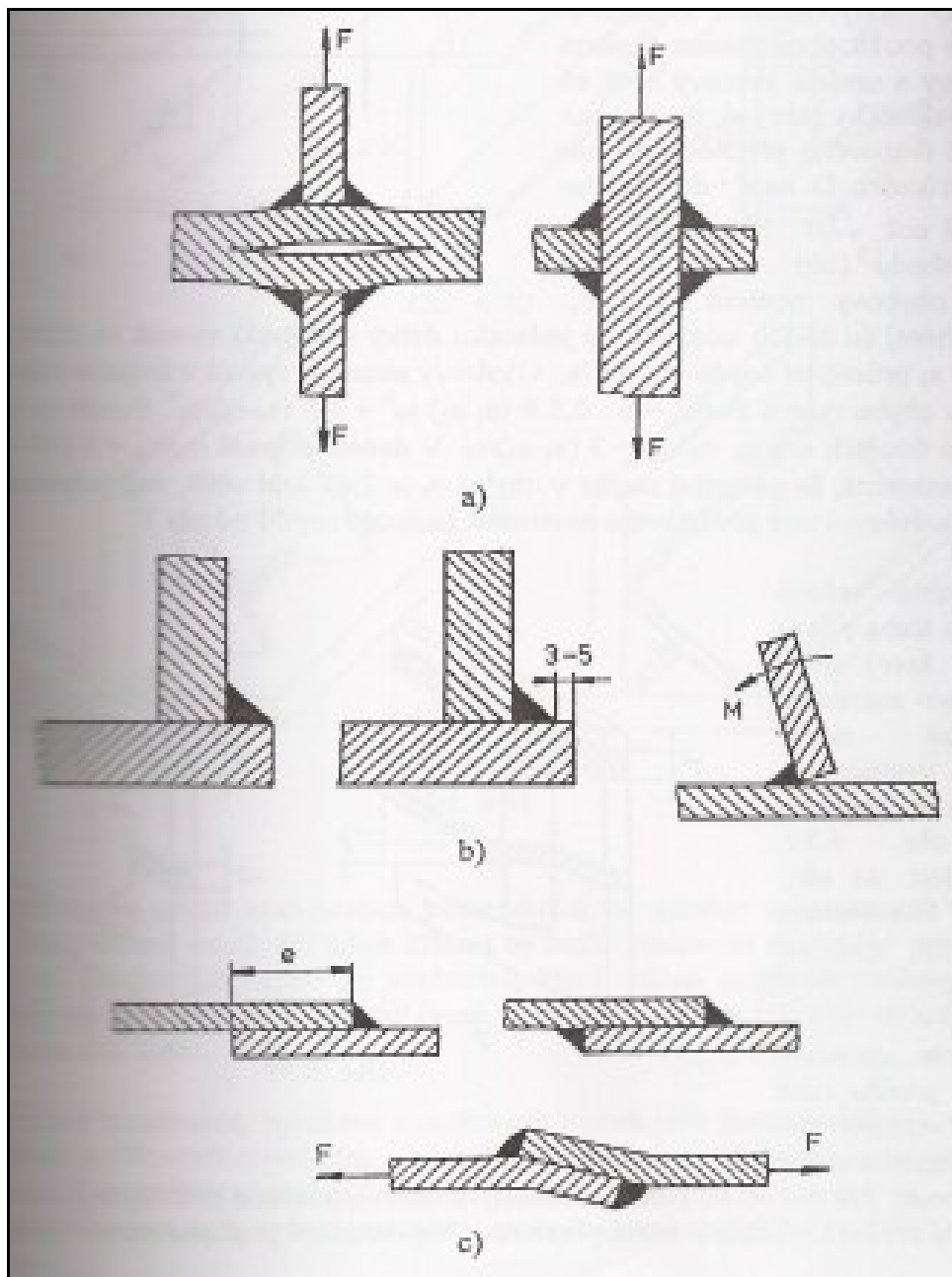
Obrázek 6-8: Základní prvky svařovaných konstrukcí [88].

Z hlediska výroby:

- dbát na zvláštnosti zvolené metody svařování
- omezit montážní svary
- upřednostnit polohu vodorovnou shora
- zvolit takový postup svařování, při kterém se mohou jednotlivé spoje svařovat a kontrolovat v průběhu celé výroby
- využít přípravky a pomůcky, které jsou k dispozici

Zásady návrhu svařované konstrukce

- Svařovanou konstrukci navrhnut vždy tak bezpečně, jak je nutno, a tak hospodárně, jak je možno.
- Respektovat normy, směrnice a předpisy platné pro návrh a výrobu svařované konstrukce.
- Vycházet z namáhání konstrukce a na jeho základě volit vhodný materiál, a to jak po stránce pevnosti, tak i svažitelnosti.
- Volit co nejméně svarů. Nejlepší svařovaná konstrukce je ta, na které se co nejméně svařuje.



Obrázek 6-9: Příklady nevhodného přivření částí konstrukcí (a) pásnice přenášející hlavní silový tok, b) koutový svar namáhaný ohybovým momentem, c) přeplátování pásnic) [88].

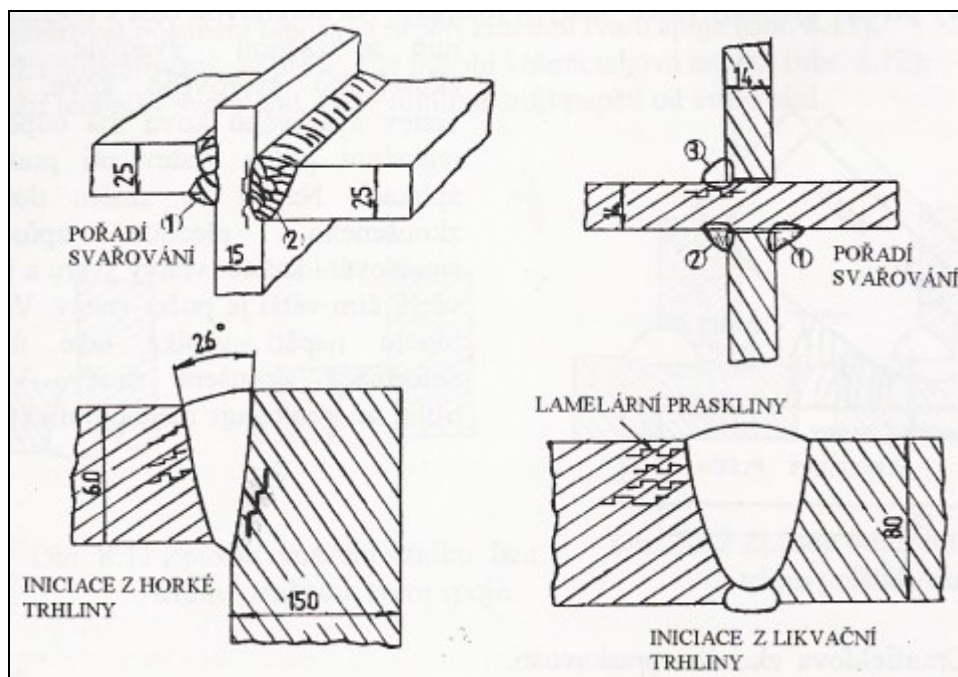
- Přídavný materiál volit pokud možno stejného složení jako je základní materiál.
- Zajistit, aby ve svařované konstrukci po jejím vyrobení zůstalo minimální zbytkové napětí, pokud možno bez místních napěťových špiček.
- U dynamicky namáhané konstrukce minimalizovat vrubové účinky. Provádět svary průběžné, věnovat pozornost koncům svarů.
- Všechny nosné svary dimenzovat na základě výpočtu, resp. velikost svarů kontrolovat výpočtem. Kromě zatížení od sil a momentů vzít při návrhu do úvahy i další požadavky, jako např. odolnost proti oxidaci, těsnost svarů, korozivzdornost.
- Volit co nejmenší rozměry svarů, nenavrhovat je větší, než je podle výpočtu nutno.
- Volit způsob svařování, který do svarového spoje vnáší co nejméně tepla.
- Zkracovat čas potřebný ke svařování.
- Vyhýbat se hromadění a křížení svarů. Vysoký lokální účinek tepla v místě spoje tří rovin může mít za následek vznik tříosého stavu napjatosti.

Problémy při návrhu uzlů ocelových konstrukcí lze definovat dle obrázků 6-7 až 6-9 [88].

Na obr. 6-9 a) je znázorněna nevhodnost přerušení pásnice přenášející hlavní silový tok od síly F . U velmi tlustých plechů by mohla vlivem vrstvení materiálu od válcování vzniknout trhlina. Vhodnější je přerušit a přivařit pásnici s vedlejším silovým tokem.

Na obr. 6-9 b) je znázorněna nevhodnost jednostranného koutového svaru při vyklápění stěny ohybovým momentem.

Na obr. 6-9 c) ukázka přeplátování pásnic. Zde může dojít k jejich lokálnímu trvalému zdeformování. Ve spoji vzniká přídavný ohybový moment.



Obrázek 6-10: Příklady lamelárních trhlin ve svarových spojih ocelových konstrukcí [87].

Možné problémy při svařování ocelových konstrukcí znázorňuje obrázek 6-10 [87], [91].



Shrnutí kapitoly

Výsledkem studia této kapitoly by měl být základní přehled a zásady pro navrhování a provádění svařovaných ocelových konstrukcí.



Kontrolní otázky

1. Definujte typy ocelových konstrukcí a pro jaký způsob namáhání jsou určeny.
2. Ve kterých případech budou navrhované konstrukce považovány za konstrukce namáhané staticky nebo dynamicky?
3. Jaké typy svarových spojů je vhodné použít pro staticky namáhané konstrukce a dynamicky namáhané konstrukce?
4. Jakým způsobem jsou u ocelových konstrukcí provedeny svarové spoje uzlových bodů (např. spojení několika nosníků v jednom místě u ocelových mostních konstrukcí)?
5. Jakým způsobem lze namáhat skořepinová konstrukce?
6. Definujte nejdůležitější zásady při návrhu svařované ocelové konstrukce.

7 Svarové plochy pro ocelové konstrukce

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- charakterizovat svarové plochy pro ocelové konstrukce
- Získáte informace o použití typů svarů na ocelové konstrukce a technologickou přípravu výroby.

Budete umět

Budete schopni:

- řešit problematiku přípravy svarových ploch pro výrobu svařovaných konstrukcí.

Budete schopni



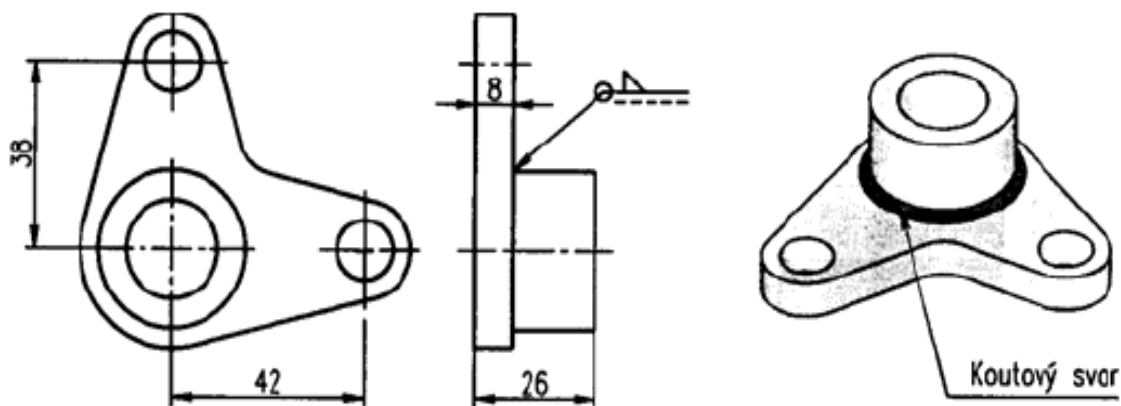
Výklad

7.1 Základní problémy

Svařované součásti jsou sestaveny z několika samostatných dílců. Kreslí se proto v závislosti na způsobu jejich výroby složitosti svařovaných dílců [23].

Výkres svařované sestavy musí obsahovat potřebné informace pro výrobu:

- poziční čísla jednotlivých dílů
- kóty pro určení tvaru a rozměru dílů
- kóty pro obrobení svarku, včetně značek drsnosti a tolerancí tvaru a polohy
- kóty pro správné sestavení svarku

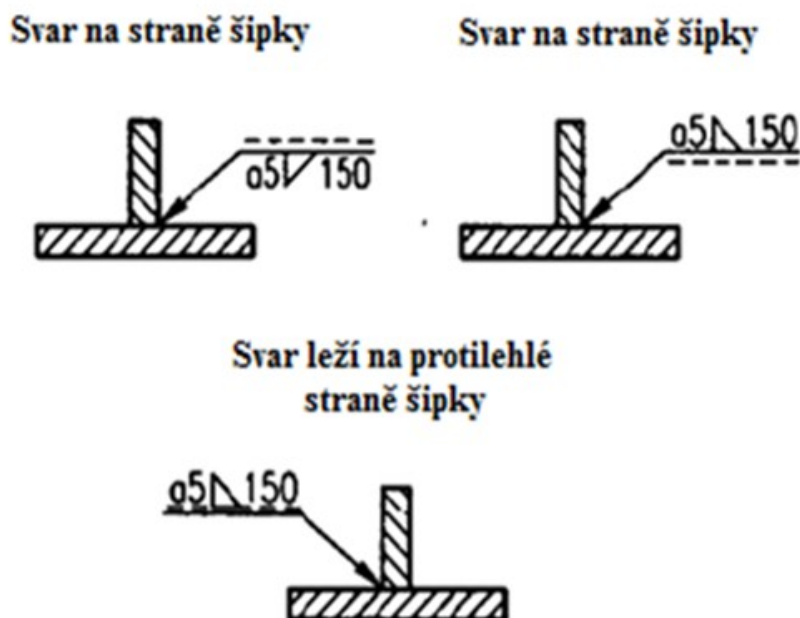


Obrázek 7-1: Deskové typy konstrukcí [65].

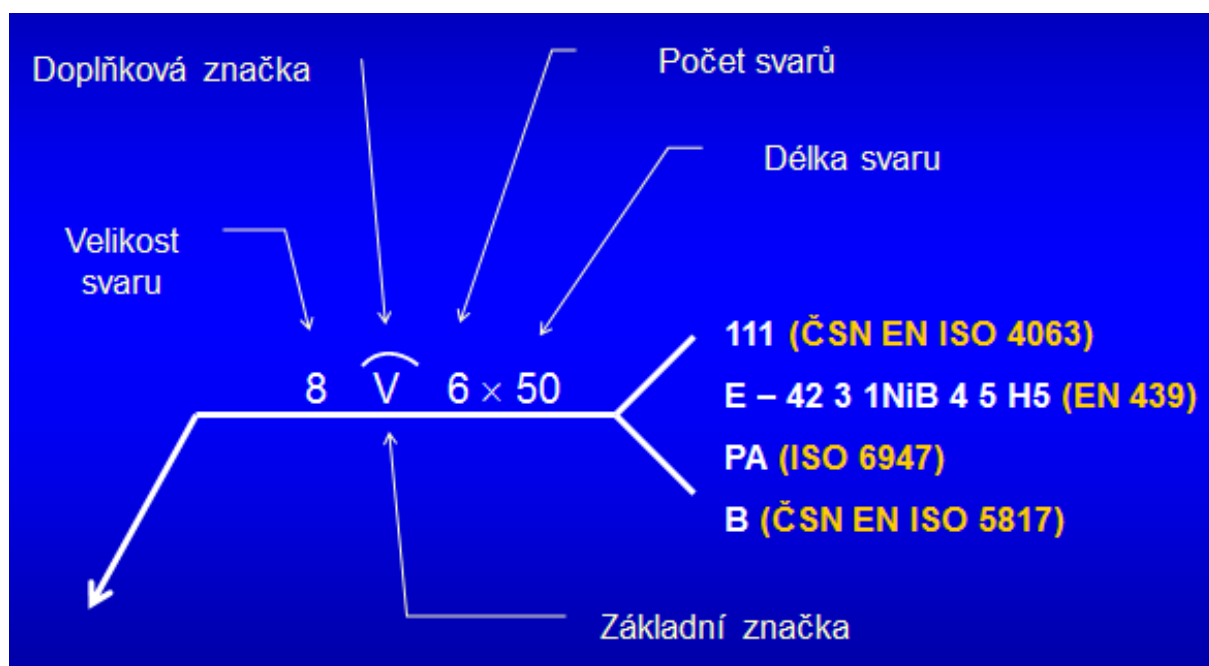
7.2 Metodika konstruování

Pro umístění značek svarů na výkresech platí několik pravidel. Základní značku svaru umístíme v závislosti na poloze svaru na svařované součásti a umístění šipky odkazové čáry:

Svar je proveden na přilehlé straně šipky – základní značku kreslíme na části odkazové čáry kreslené tenkou souvislou čarou.



Obrázek 7-2: Polohy odkazové čáry a značek při značení koutového svaru [65].

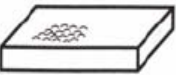


Obrázek 7-3: Úplná značka svarového spoje (doplňkové informace: metoda svařování, přídavný materiál, poloha svařování, jakost svaru) [18].

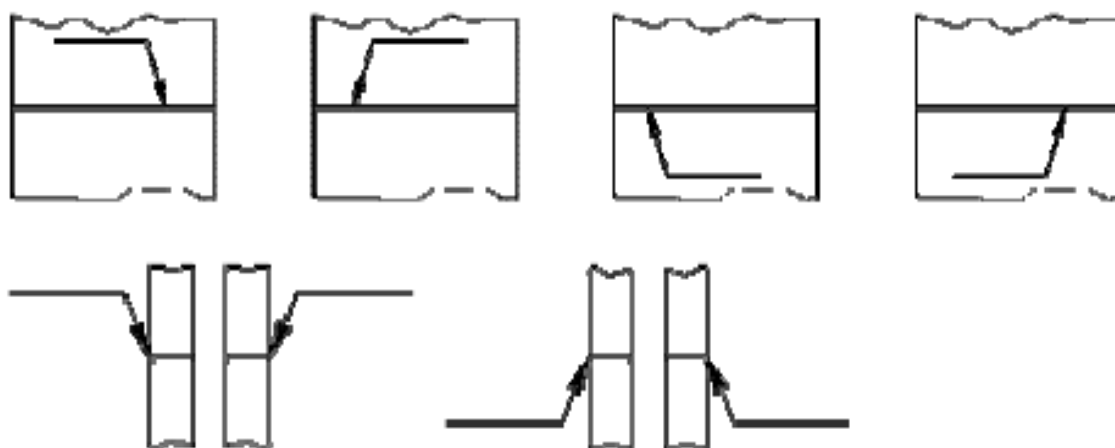
Svar je proveden na protilehlé straně šipky – základní značku kreslíme na části odkazové čáry kreslené tenkou čárkovanou čarou.

Základní značka i text mohou být uvedeny, jak nad čarou, tak pod čarou, ale vždy v poloze přilehlé k čáře odpovídající přilehlé (souvislá čára) nebo protilehlá (čárkovaná čára) straně umístění svaru.

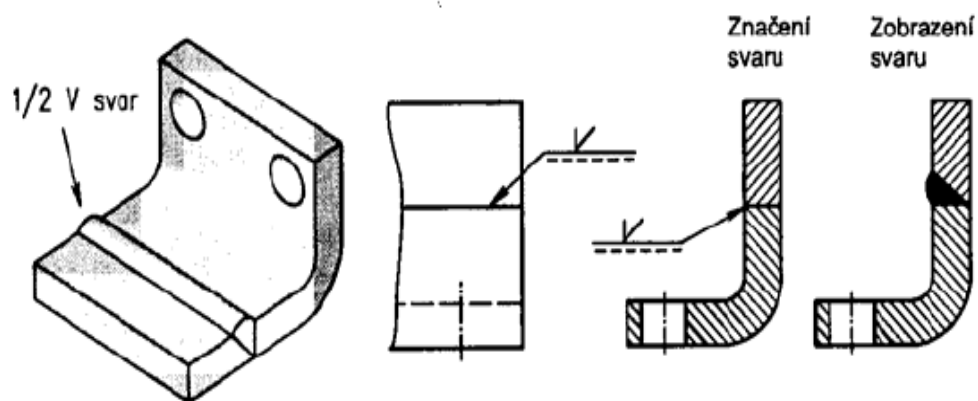
Značka je provedena tak, aby svým tvarem charakterizovala geometrii svaru, s možností doplnění tvaru svaru viz obr. 7-4.

Číslo	Pojmenování spoje	Zobrazení	Značka
6.	Koutový svar		
7.	Bodový svar		
8.	Návar		
9.	Oboustranný V svar (X svar)		
10.	Oboustranný ½ V svar (K svar)		
11.	Oboustranný ½ U svar		

Obrázek 7-4: Typ svaru a doplňková značka svaru [18].



Obrázek 7-5: Poloha odkazové čáry [69].



Obrázek 7-6: Značení svaru s upravenou stykovou plochou [70].

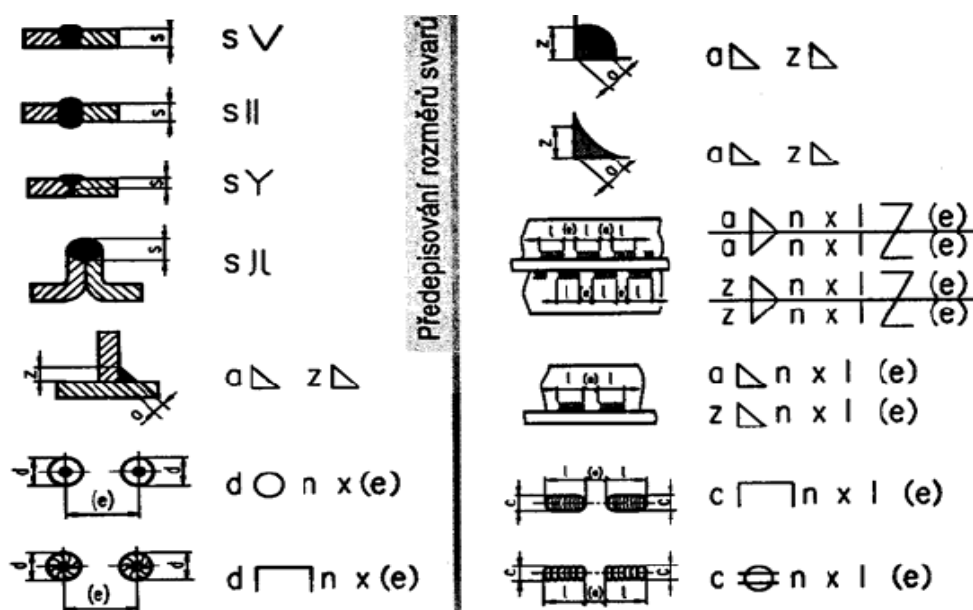
7.3 Technologická příprava výroby – hlavní rozměry svarů

Označování hlavních rozměrů:

- vzdálenost svaru od okraje dílu se neuvádí v označení svaru, ale na výkrese
- pokud není za značkou svaru uveden rozměr, znamená to, že svar je proveden po celé délce dílu
- pokud není uvedena u tupého svaru jeho velikost, je svar proveden v celé tloušťce dílu
- velikost koutových svarů lze předepsat dvěma způsoby viz obrázek 7-7. Proto je nutné před odpovídající údaj o velikosti uvést písmeno a nebo z.

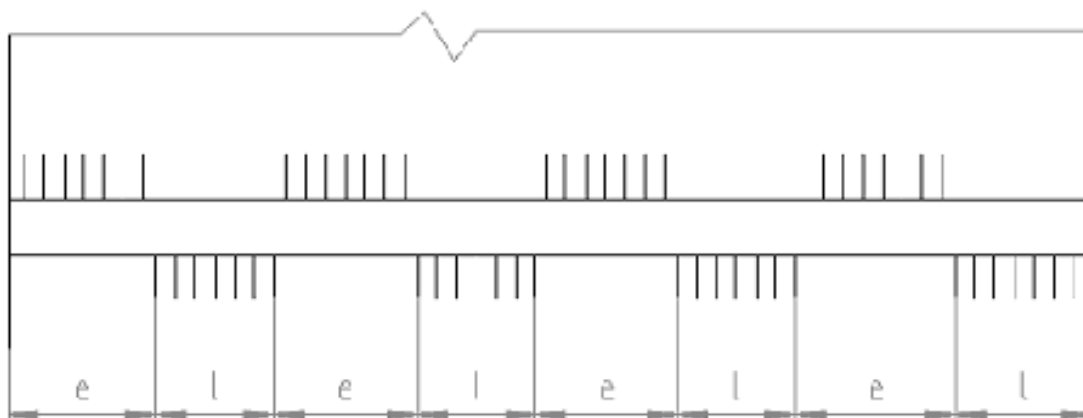


Obrázek 7-7: Značení koutových svarů s upravenou stykovou plochou [65].



Obrázek 7-8: Předepisování rozměrů svarů [68].

Délka svaru - $n \times l (e)$



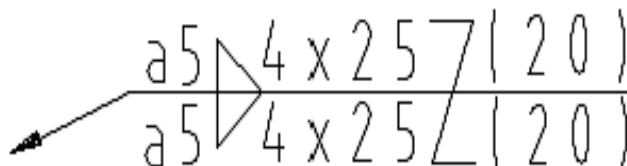
n - počet svaru

l - délka svaru

e - délka mezery

Obrázek 7-9: Určení délky, počtu a mezery mezi svary [66].

Příklad označení přerušovaného souměrného koutového svaru oboustranného, se 4 stehy délky 25 mm s mezerou 20 mm střídavě na obou stranách:

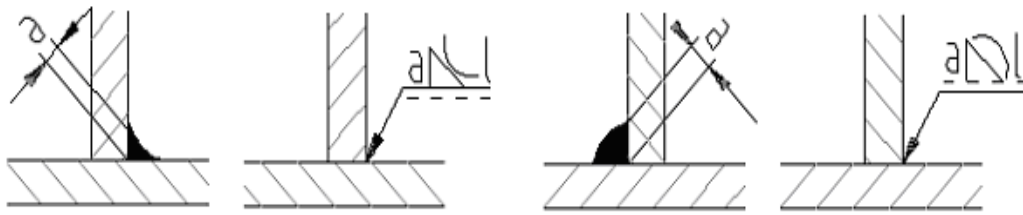


Doplňující značky

Základní značky s doplňujícími značkami se mohou vzájemně kombinovat. V případě, že by kombinace značek byla příliš složitá a nesrozumitelná, je možné na výkrese požadovaný tvar svaru zobrazit pomocí vynesené podrobnosti v požadovaném měřítku.

Tvar povrchu spoje	Značka
Plochý	—
Převýšený	()
Vydutý	) (
Opracované přechody	3
Podvaření	D
Přivařená podložka	M
Odnímatelná podložka	MR

Obrázek 7-10: Doplňující značky svarů [68].



Obrázek 7-11: Způsob zápisu doplňující značky svaru [68].



Shrnutí kapitoly

Výsledkem studia této kapitoly je získání základního přehledu o značení svarů a použití doplňkových značek za účelem jednoznačné identifikovatelnosti svarů na výkresech.



Kontrolní otázky

1. Vyjmenujte základní typy svarových spojů ocelových konstrukcí.
2. Které ze svarových spojů jsou vhodné pro statické namáhání, a které pro dynamické namáhání?
3. Uveďte příklad značení svarových spojů.
4. Které doplňkové značky se používají při značení svarových spojů a jaký mají význam?

8 Výpočty svarových spojů

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- posoudit konstrukci zda je namáhaná staticky či dynamicky.
- Získáte informace o možnostech výpočtu svarových spojů konstrukcí.

Budete umět

Budete schopni:

- posoudit a řešit problematiku výpočtu svarových spojů konstrukcí.

Budete schopni



Výklad

8.1 Úvod

Důležitým krokem při analyzování svařenců je stanovení dovoleného napětí pro materiál svařence. Je nezbytné uvažovat tepelné ovlivnění základního materiálu svařence v průběhu procesu svařování a rozmístění a způsob provedení svarů by měl být konzultován se svařovacím technologem. Zejména v případě tenkostěnných svařenců může tepelné ovlivnění základního materiálu výrazně ovlivnit jejich mechanické vlastnosti.

Výpočet svarových spojů strojních konstrukcí udává norma ČSN 05 0120. Zatížení se dělí do dvou hlavních skupin dle počtu zátěžových cyklů N [24]:

Statické: - $N \leq 5 \times 10^3$

Dynamické: - nízkocyklová únava - $N = 5 \times 10^3 \div 5 \times 10^5$
 - časová únava - $N = 5 \times 10^5 \div 2 \times 10^6$
 - klasická únava - $N \geq 2 \times 10^6$

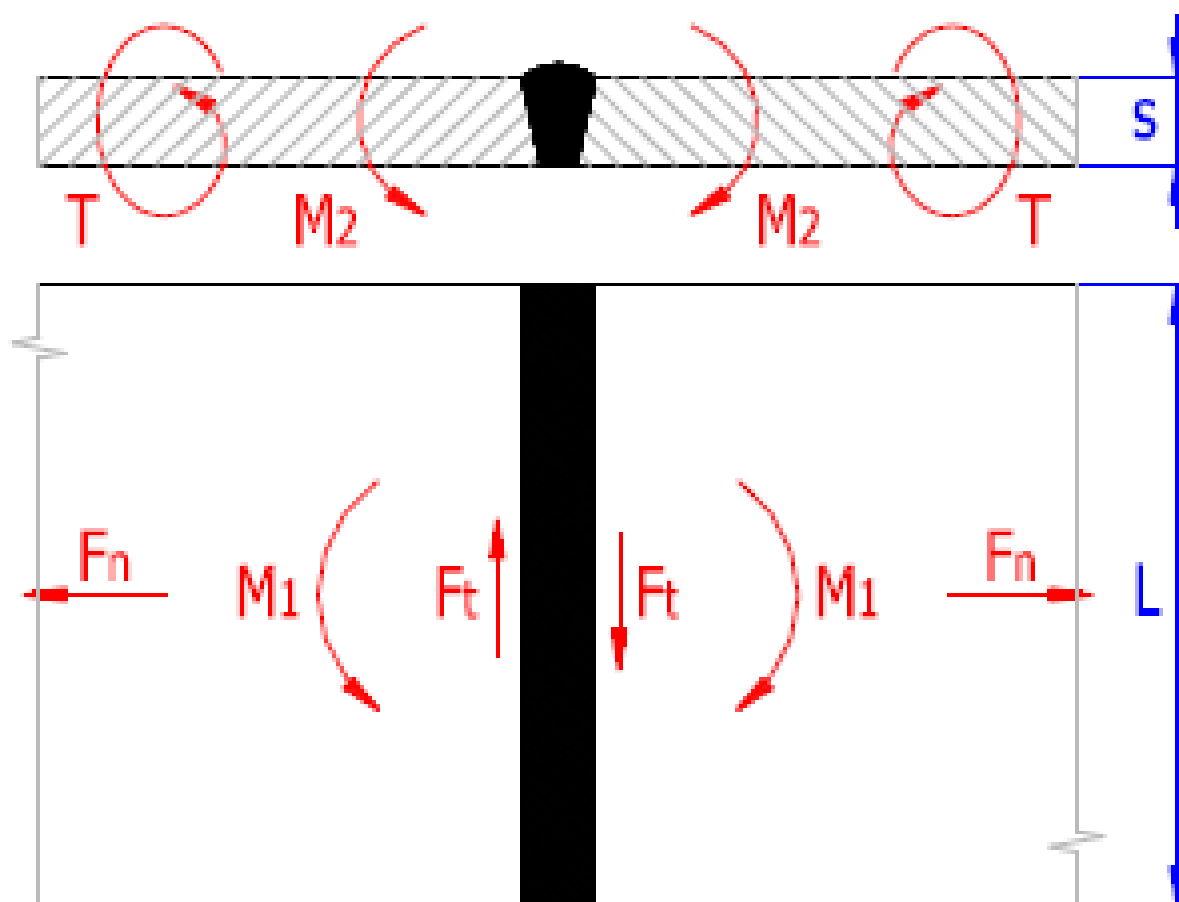
8.2 Statické namáhání

Pevnostní kontrola navržených spojů. Při pevnostních výpočtech uvažujeme vždy pevnost vlastního svaru (tvar trojúhelníkového hranolu). Napětí se určuje v rovině symetrie, v jeho nejmenším a tedy nebezpečném průřezu. Je-li zatěžující síla kolmá k rovině symetrie, je svar namáhaný na tah nebo tlak. Při rovnoběžném působení síly je svar namáhaný na smyk. Při informativních (předběžných) výpočtech předpokládáme rovnoměrné rozložení napětí. Každý svar má svou průřezovou pevnost a ta je dána tabulkami. Pak je nutné vědět, jedná-li se o svar plošný, koutový, hřebenový. A také způsob svařování, zde hraje roli, jde-li o svar housenkový, bodový či řetízkový. Při určování dovoleného namáhání základního materiálu

u ocelí běžně používaných pro svarové spoje (uhlíkové a nízkolegované ocele) se vychází z jejich meze kluzu R_e a z odpovídající hodnoty koeficientu k v rozmezí $k = 1,25 \div 2$, kde k je bezpečnostní součinitel zohledňující provedení svaru, technologii svařování a způsob zatěžování svaru. Podle průřezu a způsobu namáhání se rozeznávají svary koutové, tupé, děrové a žlábkové [75].

8.3 Tupé svary

Nejdříve odhadneme a navrhujeme rozměry svaru. Předpokladem pro výpočet napětí ve svarovém spoji je určení nosného průřezu svaru. Při výpočtu tupých svarů se zpravidla nepřihlíží ke druhu svaru (způsobu úpravy svarových ploch) ani případnému podložení svaru.



Obrázek 8-1: Způsob zápisu doplňující značky svaru [21].

Nosný průřez tupého svaru je pak určen pouze jeho tloušťkou s (přičemž za s je brána tloušťka slabší ze dvou svařovaných součástí) a délkou L .

$$S_{SV} = s \cdot L \quad (8-1)$$

Tabulka 8-1: Hodnoty dovolených napětí.

Materiál	Hodnoty dovolených napětí σ_d v [MPa]	
	tah	tlak
Šedá litina	28-80	120-150
Konstrukční ocel	140-160	140-160
Uhlíková ocel	60-250	60-250
Legovaná ocel	100-400	100-400
Měď	30-120	30-120
Mosaz	70-140	70-140
Bronz	60-120	60-120
Hliník	30-80	30-80
Hliníkový bronz	80-120	80-120
Dural	80-150	80-150

Pak výpočtem zkontrolujeme, zda napětí v namáhaném svaru je v dovolených mezích.

$$\sigma_{SV} = \frac{F_n}{S_{SV}} \leq \sigma_{D_{SV}} \quad (8-2)$$

$$\tau_{SV} = \frac{F_t}{S_{SV}} \leq \tau_{D_{SV}} \quad (8-3)$$

Tabulka 8-2: Převodní součinitele pro svarové spoje.

Druh svaru	Namáhání	Převodní součinitel α (Typ svařování)		
		Ručně	Odporově	Automatizovaně
Tupý	Tlak	1	1	1
Tupý	Tah	0,85	0,9	1
Tupý	Ohyb	0,9	1	1
Tupý	Smyk	0,7	0,7	0,7

Pevnostní výpočet stanoví v daném průřezu jen jmenovité napětí, neuvažuje se v něm s koncentrací napětí vlivem zbytkového napětí. Pro statické zatížení platí:

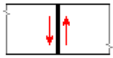
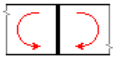
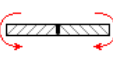
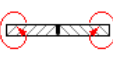
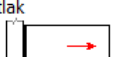
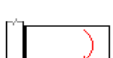
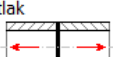
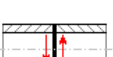
$$\sigma_{D_{SV}} = \alpha \cdot \frac{R_e}{k} = \alpha \cdot \sigma_D \quad (8-4)$$

$$\tau_{D_{SV}} = \alpha_\tau \cdot \frac{R_e}{k} = d \cdot \alpha_\tau \cdot \tau_D \quad (8-5)$$

Tupé svary musí vyhovovat podmínce:

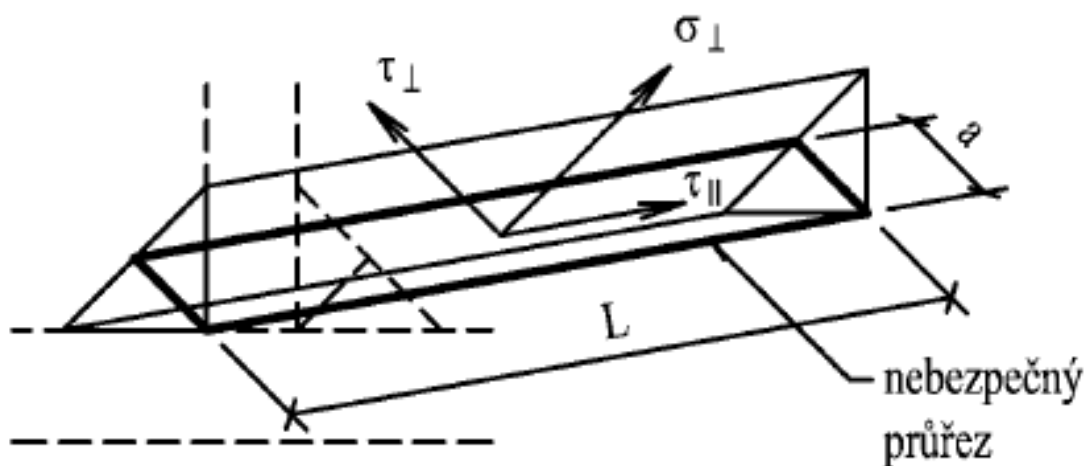
$$\sigma_s = \sqrt{\left(\frac{\sigma_\perp}{\alpha_\perp}\right)^2 + \sigma_\parallel^2 - \frac{\sigma_\perp \cdot \sigma_\parallel}{\alpha_\perp} + 3 \cdot \left(\frac{\tau}{\alpha_\tau}\right)^2} \leq \frac{R_e}{k} \quad (8-6)$$

Tabulka 8-3: Základní výpočtové vzorce pro tupé svary [67].

Zatížení	Jmenovité napětí [MPa, psi]
Tah / tlak 	$\sigma_\perp = \frac{F_n}{A_w} = \frac{F_n}{L \cdot a}$
Smyk 	$\tau_\parallel = \frac{F_s}{A_w} = \frac{F_s}{L \cdot a}$
Ohyb 	$\sigma_\perp = \frac{M}{Z_w} = \frac{6 \cdot M}{a \cdot L^2}$
Ohyb 	$\sigma_\perp = \frac{M}{Z_w} = \frac{6 \cdot M}{L \cdot a^2}$
Krut 	$\tau_\perp = \frac{T}{Z_w} = \frac{T}{\delta \cdot L \cdot a^2} \quad \delta \approx \frac{L}{3L + 1.8a}$
Tah 	$\sigma_\perp = \frac{F \cdot \cos(\delta)}{A_w} = \frac{F \cdot [\cos(\delta)]^2}{L \cdot a}$ $\tau_\parallel = \frac{F \cdot \sin(\delta)}{A_w} = \frac{F \cdot \sin(2\delta)}{2 \cdot L \cdot a}$
Tah / tlak 	$\sigma_\perp = \frac{F_n}{A_w} = \frac{F_n}{L \cdot a}$
Smyk 	$\tau_\parallel = \frac{F_s}{A_w} = \frac{F_s}{L \cdot a}$
Ohyb 	$\sigma_\perp = \frac{M}{Z_w} = \frac{6 \cdot M}{a \cdot L^2}$
Tah / tlak 	$\sigma_\perp = \frac{F_n}{A_w} = \frac{4 \cdot F_n}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} \quad d = D - 2 \cdot a$
Smyk 	$\tau_\perp = \tau_\parallel = \frac{F_s}{A_w} = \frac{4 \cdot F_s}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} \quad d = D - 2 \cdot a$
Ohyb 	$\sigma_\perp = \frac{M}{Z_w} = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot D^3 \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right]} \quad d = D - 2 \cdot a$
Krut 	$\tau_\parallel = \frac{T}{Z_w} = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot D^3 \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right]} \quad d = D - 2 \cdot a$

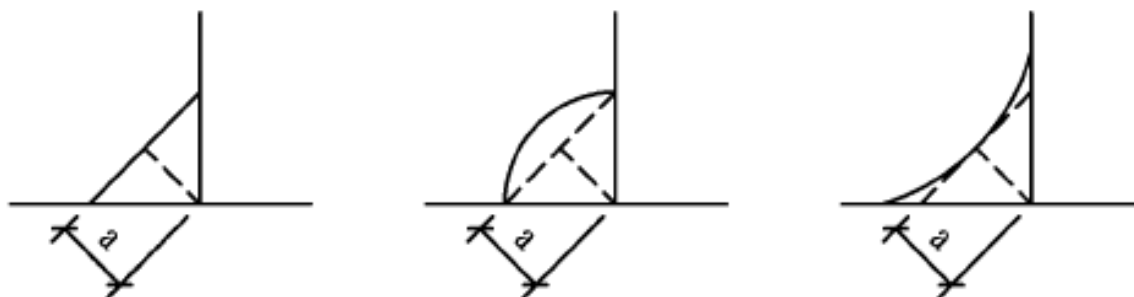
8.4 Koutové svary

U koutových svarů je nosným průřezem obdélník, ležící ve středové rovině rozdělující profil svaru na dvě stejné části.



Obrázek 8-2: Napětí v koutovém svaru.

Je dán účinnou výškou svaru a výpočtovou délkou svaru. Účinná výška svaru a je výška rovnoramenného trojúhelníka vepsaného do průřezu svarového tělíska. Navrhuje se v celých mm.



Obrázek 8-3: Výpočtová tloušťka koutového svaru.

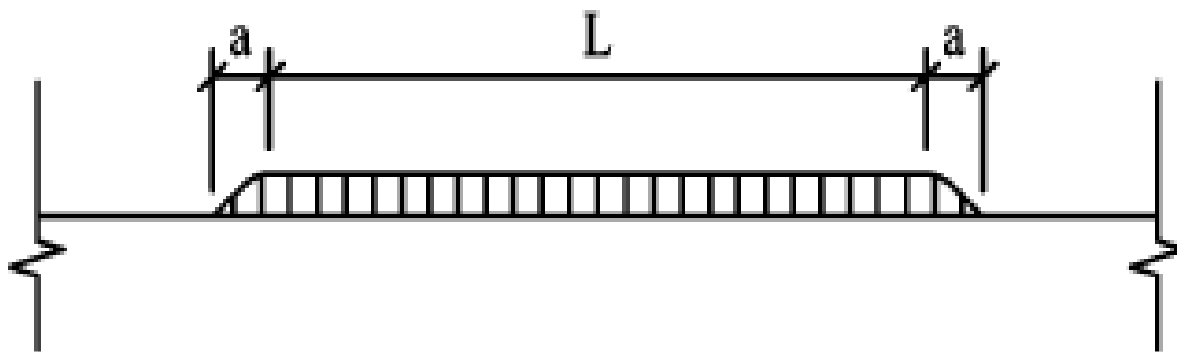
Tabulka 8-4: Nejmenší účinná výška.

s_{max} (mm)	a_{min} (mm)
do 10	3
11 až 20	4
21 až 30	5
31 a více	6

Volba účinné výšky závisí na tloušťkách spojovaných prvků s ; má být dodrženo $a_{min} \leq a \leq a_{max}$, kde $a_{max} = 1,1 s_{min}$. Min. přípustná tloušťka koutového svaru se volí v závislosti na max. tloušťce svařovaných součástí.

V přeplátovaném spoji nemá být výška svaru větší, než 0,7 násobek tloušťky připojovaného prvku.

Účinná délka svaru L je délka, na které má svar plný průřez, tj. délka svaru zmenšená na koncích o hodnotu a .



Obrázek 8-4: Účinná délka svaru.

Výpočtová délka koutového svaru $L_{min} = 4s$ (min. 40 mm)

$L_{max} = 50s$ (pokud nevzniká napětí po celé délce spoje)

Délka koutového svaru by se měla pohybovat v rozmezí $5a < L < 70a$. U delších svarů je účelnější použít svar přerušovaný. U velmi dlouhých svarů ($150a < L < 400a$) namáhaných ve směru svaru je nutné pro účely výpočtu provádět korekci nosné délky svaru koeficientem:

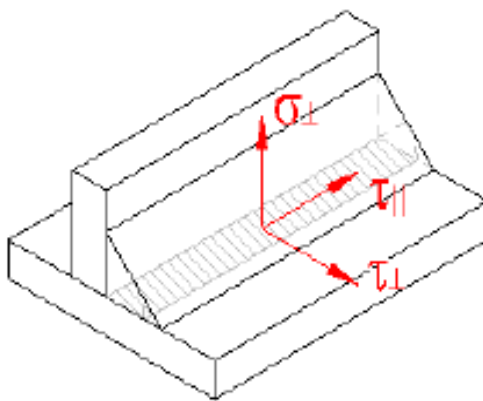
$$\gamma = 1,2 - 0,2 \cdot \left(\frac{L}{150 \cdot a} \right). \quad (8-7)$$

Nosný průřez koutového svaru:

$$\text{jednostranný:} \quad S_{SV} = 0,7 \cdot s \cdot l = a \cdot l, \quad (8-8)$$

$$\text{oboustranný:} \quad S_{SV} = 1,4 \cdot s \cdot l = 2a \cdot l. \quad (8-9)$$

Při pevnostním řešení koutových svarů používá zjednodušená metoda, u které se pro účely výpočtu sklápí nosný průřez svaru do roviny připojení součástí. V závislosti na daném zatížení jsou pak určovány jednotlivé složky napětí v tomto sklopeném průřezu a to ve směru kolmém na svar a ve směru souběžném se svarem. Součástí této konvence je i předpoklad, že všechny takto určené složky budou mít ve skutečnosti charakter smykového napětí. Vypočtená jmenovitá napětí pak tedy nesmí přesáhnout hodnoty dovoleného napětí materiálu ve smyku.



Obrázek 8-5: Rozložení napětí [67].

Tabulka 8-5: Převodní součinitele pro svarové spoje.

Druh svaru	Namáhání	Převodní součinitel α (Typ svařování)		
		Ručně	Odporově	Automatizovaně
Koutový – čelní	Smyk	0,75	0,9	1
Koutový - boční	Smyk	0,65	0,8	0,9

Koutové svary musí vyhovovat podmínce:

$$\tau_s = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp}}{\alpha_{\tau\perp}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\parallel}}{\alpha_{\tau\parallel}}\right)^2} \leq \beta \cdot \frac{R_e}{k} \quad (8-10)$$

Pro $t < 10 \text{ mm}$: $\beta = 1,1 - 0,03t$

Pro $t \geq 10 \text{ mm}$: $\beta = 1,0$

V závislosti na působícím zatížení můžeme pro určení jednotlivých složek napětí v daném bodě použít vztahy:

Pro zatížení normálovou silou F_n :

$$\sigma_{\perp} = \frac{F_n}{S_w} \quad (8-11)$$

Pro zatížení ohybovým momentem M :

$$\sigma_{\perp} = \frac{M \cdot r_y}{I_{wx}} \quad (8-12)$$

Pro zatížení smykovou silou F_x :

$$\tau_{\perp} = \tau_x = \frac{F_x}{S_w} \quad (8-13)$$

Pro zatížení smykovou silou F_y :

$$\tau_{\parallel} = \tau_y = \frac{F_y}{S_w} \quad (8-14)$$

Pro zatížení kroutícím momentem T :

$$\tau_{\perp} = \tau_x = \frac{T \cdot r_y}{J_w}, \quad (8-15)$$

$$\tau_{\parallel} = \tau_y = \frac{T \cdot r_x}{J_w} \quad (8-16)$$

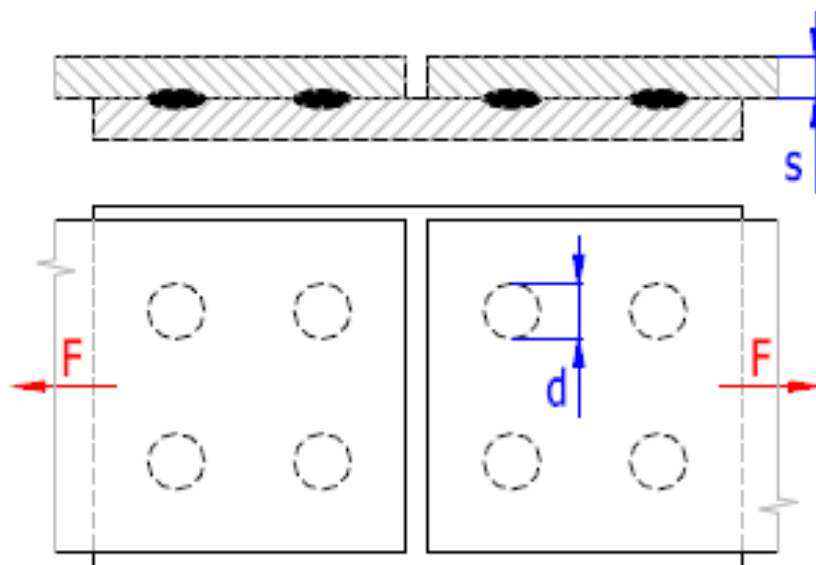
Koutové svary spojující stěnu a pás nosníku (krční svary):

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_{\parallel}^2 + \left(\frac{\tau_{\perp}}{\alpha_{\tau\perp}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{\parallel}}{\alpha_{\tau\parallel}} \right)^2} \leq \beta \cdot \frac{R_e}{k} \quad (8-17)$$

U krčních svarů tupých, nebo kombinovaných tupých a koutových $\beta = 1$.

8.5 Bodové (odporové) svary

Počet bodových svarů se řídí podle velikostí spojovacích ploch [67].



Obrázek 8-6: Bodové svary.

Výpočet bodových svarů při statickém zatížení:

a) Namáhání na stříh:

$$\tau = \frac{F}{i \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} \leq \tau_{D_{SV}} \quad (8-18)$$

b) Namáhání na vytržení podle válcové plochy:

$$\tau = \frac{F}{i \cdot \pi \cdot d \cdot s} \leq \tau_{D_{SV}} \quad (8-19)$$

Pro $d > 4s$ se volí $\tau_{D_{SV}} = \tau'_{D_{SV}}$.

c) Namáhání bodů na odtržení:

$$\tau = \frac{F}{i \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} \leq \tau'_{D_{SV}} \quad (8-20)$$

Dovolené namáhání se určuje ze σ_D základního materiálu:

a) Při namáhání na stříh a vytržení

$$\tau_{D_{SV}} = 0,65 \cdot \sigma_D \quad (8-21)$$

b) Při namáhání na odtržení

$$\tau'_{D_{SV}} = 0,50 \cdot \sigma_D \quad (8-22)$$

8.6 Dynamicky namáhané konstrukce

Pro daný typ svaru a jeho provedení je rozhodující způsob jeho zatížení a mez únavy svarového spoje. Podle typů zatížení se provádí výpočet namáhání. Jeden s příkladů výpočtu je uveden níže.

Analytický postup výpočtu při cyklickém zatížení

Velikost zatížení ve svarovém spoji lze obecně vyjádřit pomocí vztahů:

$$F = F_m \pm \varphi \cdot F_a \quad \text{resp.} \quad M = M_m \pm \varphi \cdot M_a$$

F - Výsledná síla

M - Výsledný moment

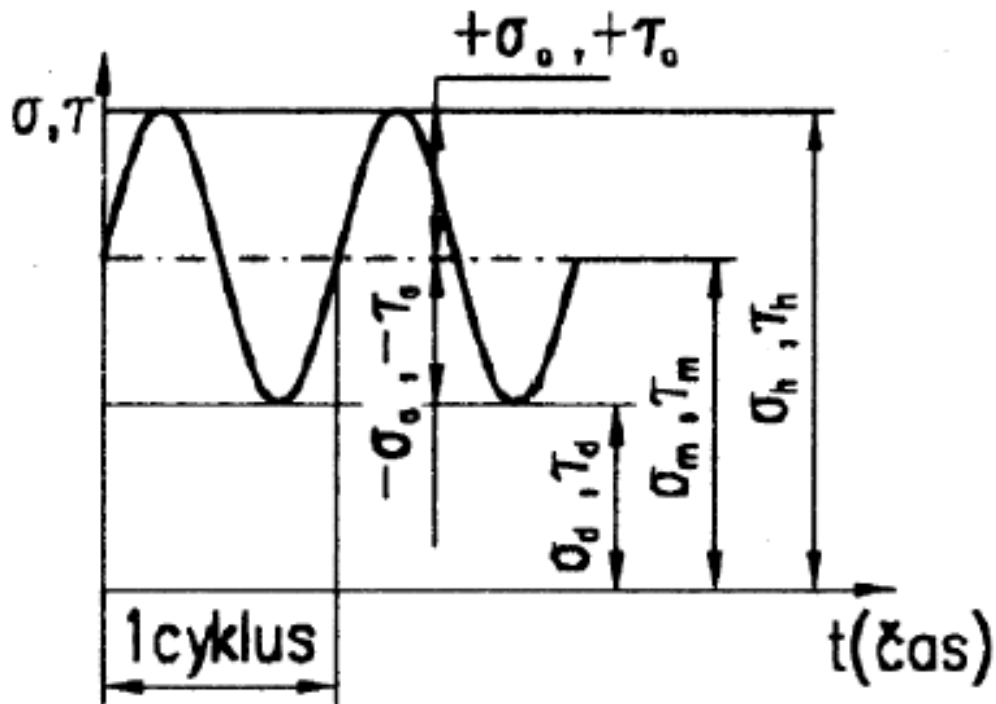
F_m - stálá síla nebo střední síla

M_m - stálá moment nebo střední moment

F_a - amplituda síly

M_m - amplituda momentu

φ - dynamický součinitel rázu



Obrázek 8-7: Cyklické namáhání.

Tabulka 8-6: Volba dynamického součinitele (rázu) - φ

Charakteristika provozu (chodu) stroje	Druh stroje	Dynamický součinitel φ
Stroje s rovnoměrným rotačním pohybem	Elektrické stroje Brousící stroje Parní a vodní turbíny Rotační kompresory	1,0 až 1,1
Stroje s vratným pohybem bez rázů	Hoblovací a obrážecí stroje Spalovací motory Parní stroje	1,2 až 1,4
Stroje s pozvolna rostoucími rázy	Ohraňovací lisy Hydraulické kovací lisy Nůžky	1,5 až 2,0
Stroje s náhle působícími rázy	Drtiče a třídiče kamenů Válcovací stolice Buchary	2,0 až 3,0

U svarů dynamicky zatížených se zjišťují podle způsobu zatížení následující hodnoty:

- 1) Horní napětí cyklu - $\sigma_h; \tau_h$
- 2) Dolní napětí cyklu - $\sigma_n; \tau_n$
- 3) Střední napětí cyklu - $\sigma_m; \tau_m$
- 4) Amplituda napětí cyklu - $\sigma_a; \tau_a$
- 5) Součinitel nerovnoměrnosti cyklu - R

Střední napětí cyklu:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_h + \sigma_n}{2}, \tau_m = \frac{\tau_h + \tau_n}{2}$$

Amplituda cyklu:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_h - \sigma_n}{2}, \tau_a = \frac{\tau_h - \tau_n}{2}$$

Způsob zatížení se charakterizuje součinitelem nerovnoměrnosti cyklu R.

$$R = \frac{\sigma_n}{\sigma_h}, R = \frac{\tau_n}{\tau_h},$$

Zatížení střídavě souměrné:

$$(\sigma_h = -\sigma_n, \sigma_m = 0) \rightarrow R = -1$$

Zatížení míjivé:

$$(\sigma_n = 0, \sigma_m = \sigma_a) \rightarrow R = 0$$

Zatížení pulsující:

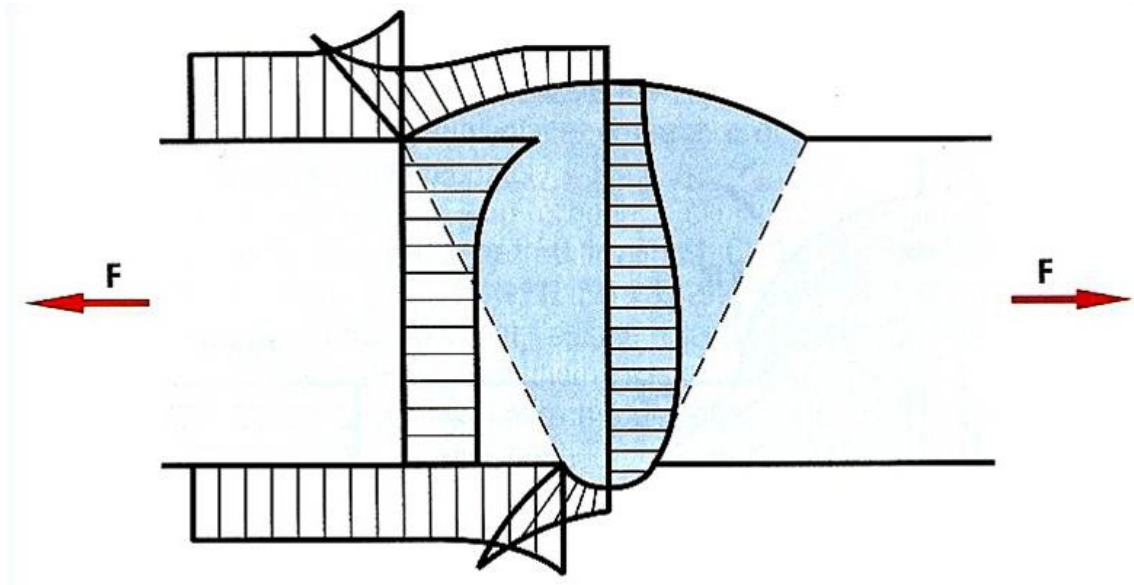
$$0 < R < 1$$

8.7 Aplikace výpočtů pomocí metody konečných prvků

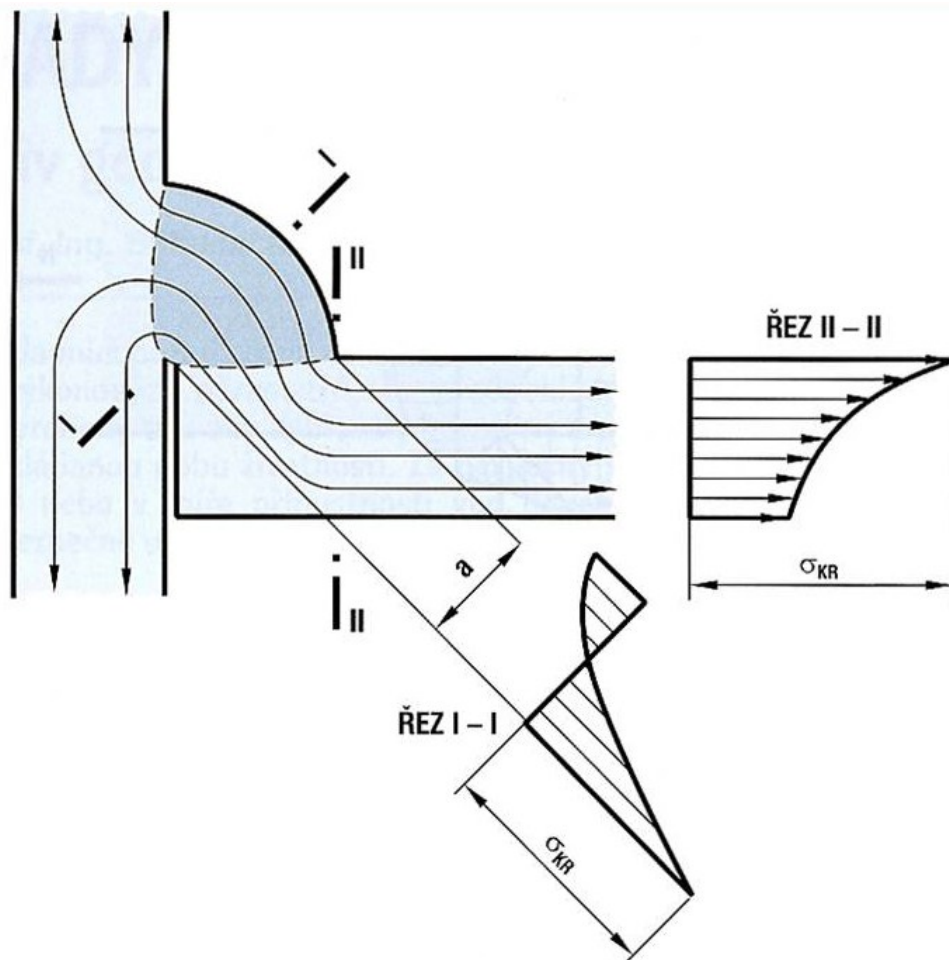
Jednou z moderních možností výpočtu a návrhu ocelových konstrukcí je použití metody konečných prvků. Existuje několik způsobů a výpočtových programů, které definují napětěvé stavy v konstrukci. Metody konečných prvků přispívají ke snižování konstrukčních chyb ještě v době před vlastním návrhem konstrukce, protože upozorní na kritická místa – vysoké napětěvé stavy před prováděním ocelové konstrukce. Jejich úpravou a opakovaným výpočtem lze eliminovat tyto extrémně namáhané uzly.

Svařované konstrukce mívají zpravidla mnoho svarových spojů. Vlastním procesem svařování má každý svar několik typů napětí, které je nutné brát na zřetel. Zejména přechody svarů do základního materiálu mohou generovat napětěvé špičky přesahující i dvojnásobek

zatížení. Na obr. 8-8 je znázorněn příklad napěťových stavů u tupého svarového spoje, a na obrázku 8-9 průběh siločár a napěťových stavů u koutového svarového spoje [46].

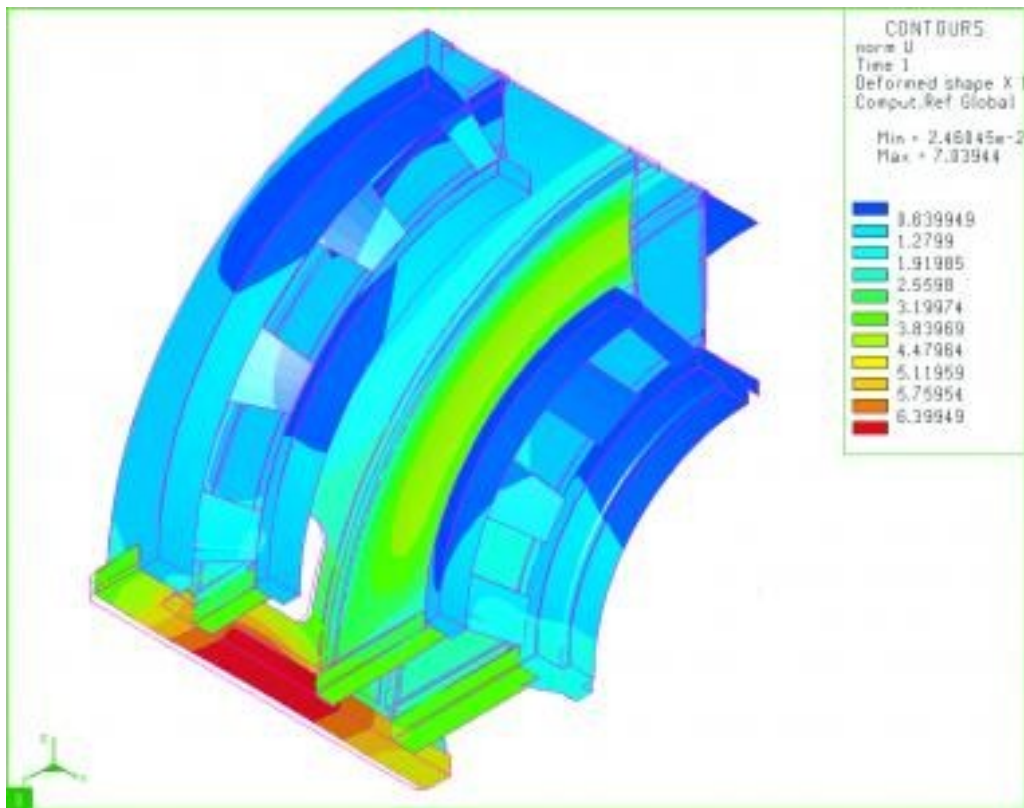


Obrázek 8-8: Napěťové stavy u tupého svarového spoje [46].

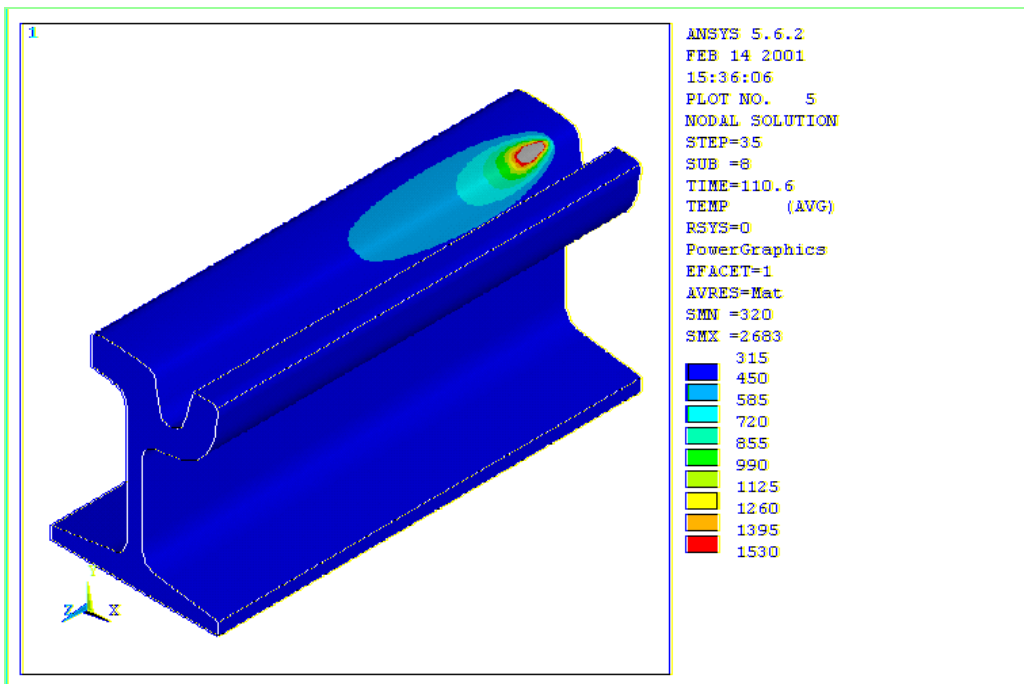


Obrázek 8-9: Průběh siločár a napěťové stavy u koutového svarového spoje [46].

Jako příklad lze uvést výpočet namáhání dílce programem SYSWELD (obr. 8-10) s místy největších deformací. Na obrázku 8-11 je znázorněné vypočtené teplotní pole při navařování kolejnic programem ANSYS [18].



Obrázek 8-10: Příklad výpočtu napěťových stavů programem SYSWELD [34].



Obrázek 8-11: Příklad výpočtu teplotního pole při navařování kolejnic programem ANSYS [18].



Shrnutí kapitoly

Kapitola seznamuje s možnostmi výpočtu svarových spojů na ocelových konstrukcích. U konstrukcí je nutné znát, zda se jedná o konstrukci namáhanou staticky nebo dynamicky. Podle typu namáhání se konstrukce dimenzuje s ohledem na životnost a bezpečnost po celou dobu jejího provozu. Rozhodující vliv na bezpečnost mají napět'ové stavy v konstrukci, které lze posoudit výpočtem metodami konečných prvků.



Kontrolní otázky

1. Jaký je rozdíl mezi staticky namáhaným svarovým spojem a dynamicky namáhaným spojem?
2. Co definuje počet zátěžových cyklů „N“ u konstrukce?
3. Vyjmenujte hlavní typy namáhání svarových spojů.
4. Co je převodní součinitel svaru „ α “ ?
5. Ve které oblasti tupého svarového spoje dochází k největšímu nárůstu napětí (napět'ové špičky)?
6. Ve které oblasti koutového svarového spoje dochází k největšímu nárůstu napětí (napět'ové špičky)?
7. Jakým způsobem lze minimalizovat vliv napět'ových špiček na svarovém spoji?

9 Konstrukce betonářských výztuží

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- identifikovat jednotlivé svarové spoje betonářské výztuže
- Získáte informace o zhotovování betonářských výztuží v technologické přípravě výroby.

Budete umět

Budete schopni:

- řešit problematiku při výrobě konstrukcí betonářské výztuže.

Budete schopni



Výklad

9.1 Základní problémy

V 50. letech se začíná používat svařování při zpracování betonářských ocelí. Postupně se však do této oblasti svařování zavádějí samostatné přístupy a postupy. Studují se vlastnosti svarových spojů betonářských ocelí a jejich chování v železobetonových konstrukcích a dílech. Byly vypracovány podrobné předpisy a pokyny pro svařování betonářských ocelí, ČSN pro zkoušení a hodnocení svařitelnosti betonářské oceli a ČSN pro zkoušení svarových spojů betonářských ocelí.

Zpočátku byla jediná použitelná metoda svařování ve stavebnictví - svařování elektrickým obloukem, později se začaly používat metody odporového bodového a stykového svařování, svařování termitem, poloautomatického svařování v ochranné atmosféře CO₂

Při zpracování betonářských ocelí se svařování prosadilo hlavně při výrobě prefabrikátů, při jejich montáži na stavbách a při přípravě výztuže v monolitických stavbách betonovaných na staveništích.

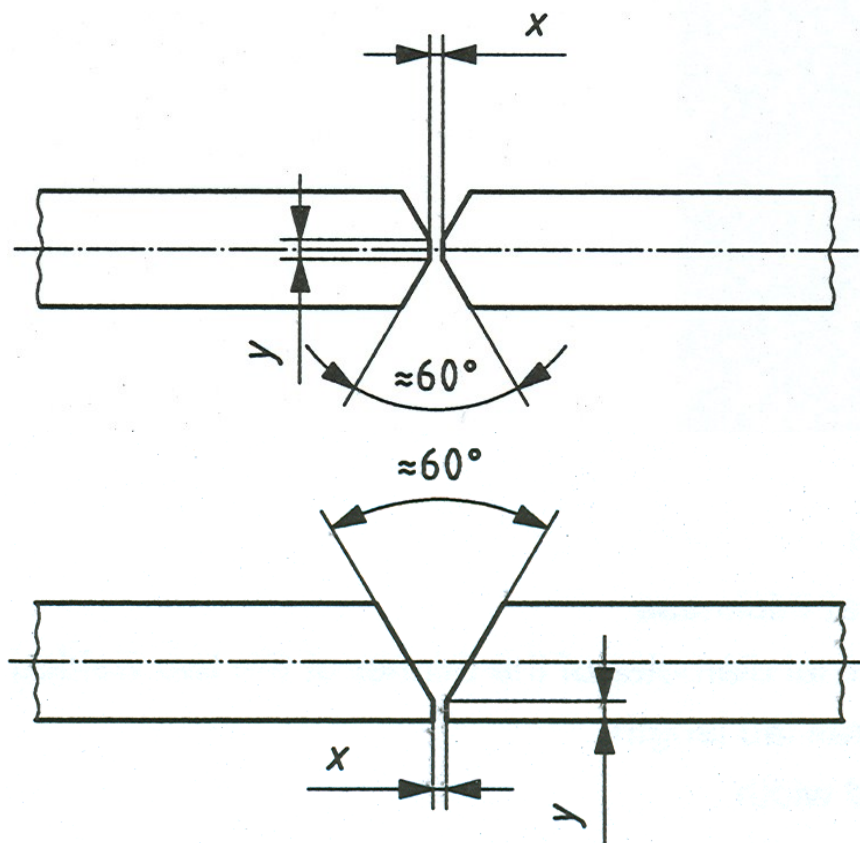
9.2 Metodika a podmínky aplikace betonářských výztuží

Výroba a používání betonářské výztuže mají v České republice dlouholetou tradici. Vydáním norem ČSN EN ISO 17660-1 Svařování – Svařování betonářské oceli – Část 1: Nosné svarové spoje (červenec 2007), byly stanoveny podmínky pro svařování betonářských ocelí a požadavky na kvalitu prováděných svarů. Tyto normy specifikují požadavek na svářečský dozor pro svařování betonářských ocelí (ocelových výztuží), který musí absolvovat specializační kurz dle Technického pravidla TP C 027 České svářečské společnosti ANB, aby

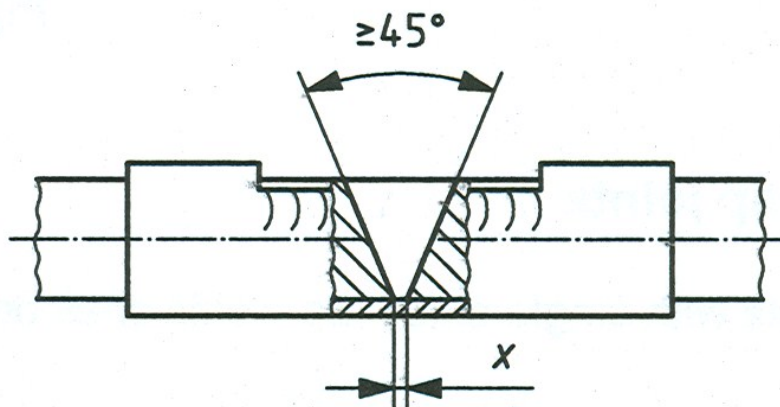
mohl vykonávat svou funkci. Novým požadavkem je i provádění zkoušek svářečů dle Technického pravidla TP A 217 České svářečské společnosti ANB [76], [77].

Při svařování betonářské výztuže vznikají vady svarových spojů, které lze rozdělit na přípustné a nepřípustné. Vznik vad může být zapříčiněn vadami v základním materiálu, nevhodným přídavným materiálem, nedodržením technologického postupu při svařování, a zejména lidským faktorem.

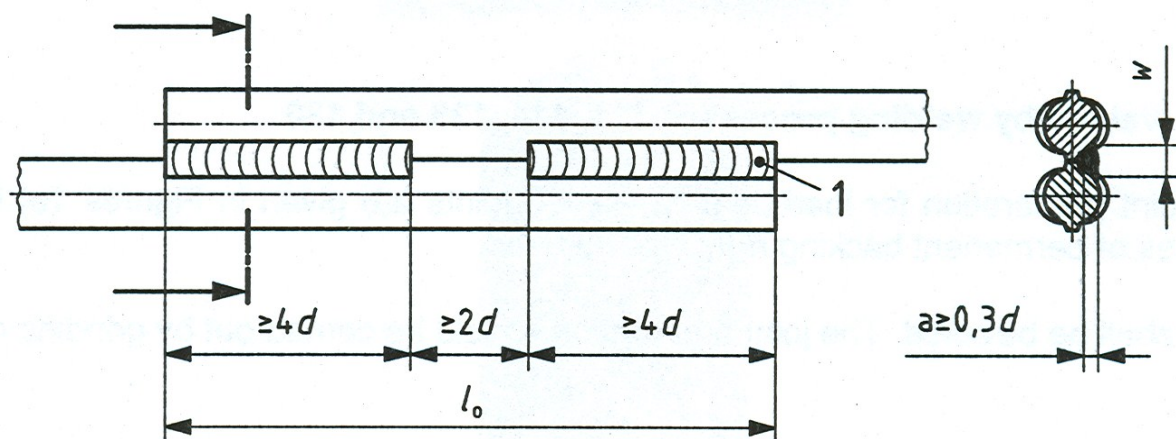
Při svařování betonářských výztuží se používají tyto typy svarových spojů [76], [77]:



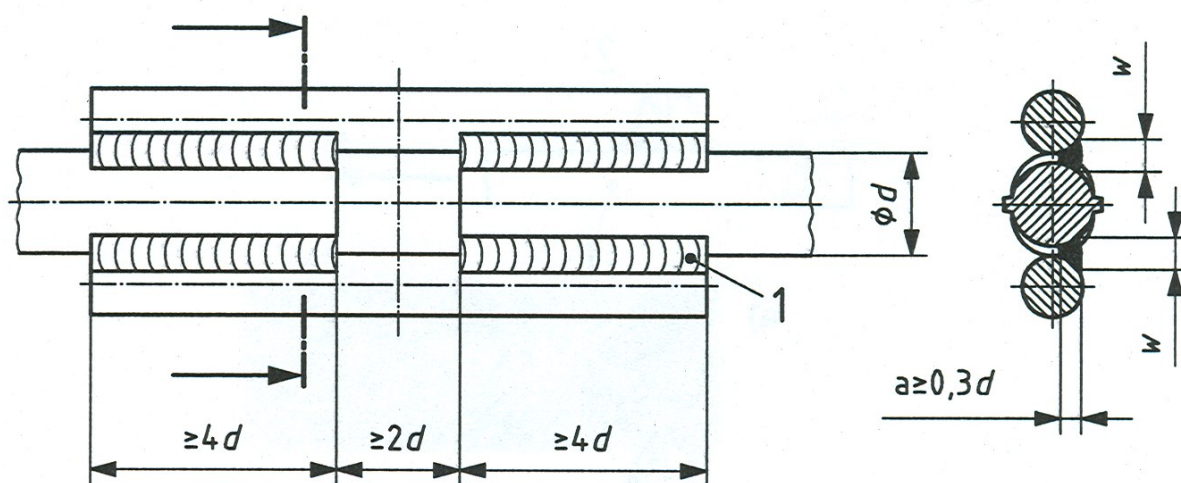
Obrázek 9-1: Oboustranný a jednostranný tupý V-svar.



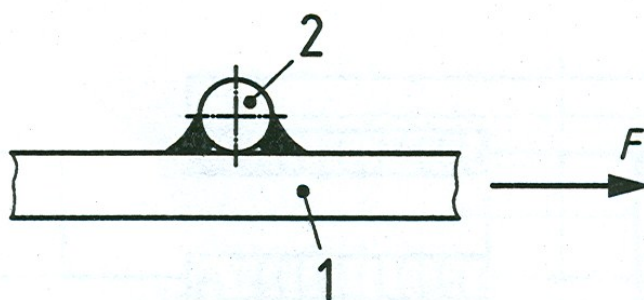
Obrázek 9-2: Jednostranný tupý V-svar na podložce.



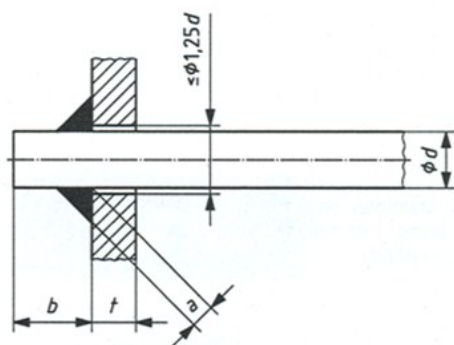
Obrázek 9-3: Překládaný svar s přesahem.



Obrázek 9-4: Spoj s příložkami.



Obrázek 9-5: Křížový spoj oboustranný.

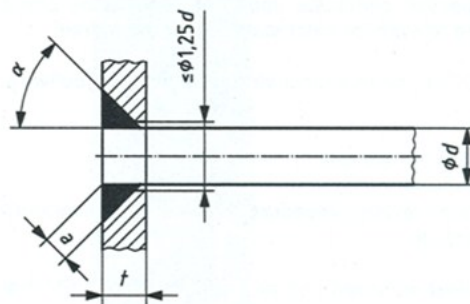


$$a = 0,4 d$$

$$b \geq d$$

$$0,4 d \leq t, \text{ ale } t_{\min} = 4 \text{ mm}$$

a) Průchozí tyč

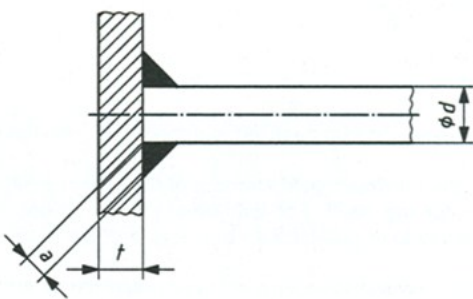


$$\alpha \geq 45^\circ$$

$$a = 0,4 d$$

$$t \geq d$$

b) Vsazená tyč



$$a = 0,4 d$$

$$0,4 d \leq t, \text{ ale } t_{\min} = 4 \text{ mm}$$

c) Nasazená tyč

- a velikost koutového svaru
- b přesah tyče
- d jmenovitý průměr svařované tyče
- t tloušťka plechu
- $t_{\min}$ minimální tloušťka stojiny tvarové oceli nebo plechu, která má být svařována
- α úhel otevření

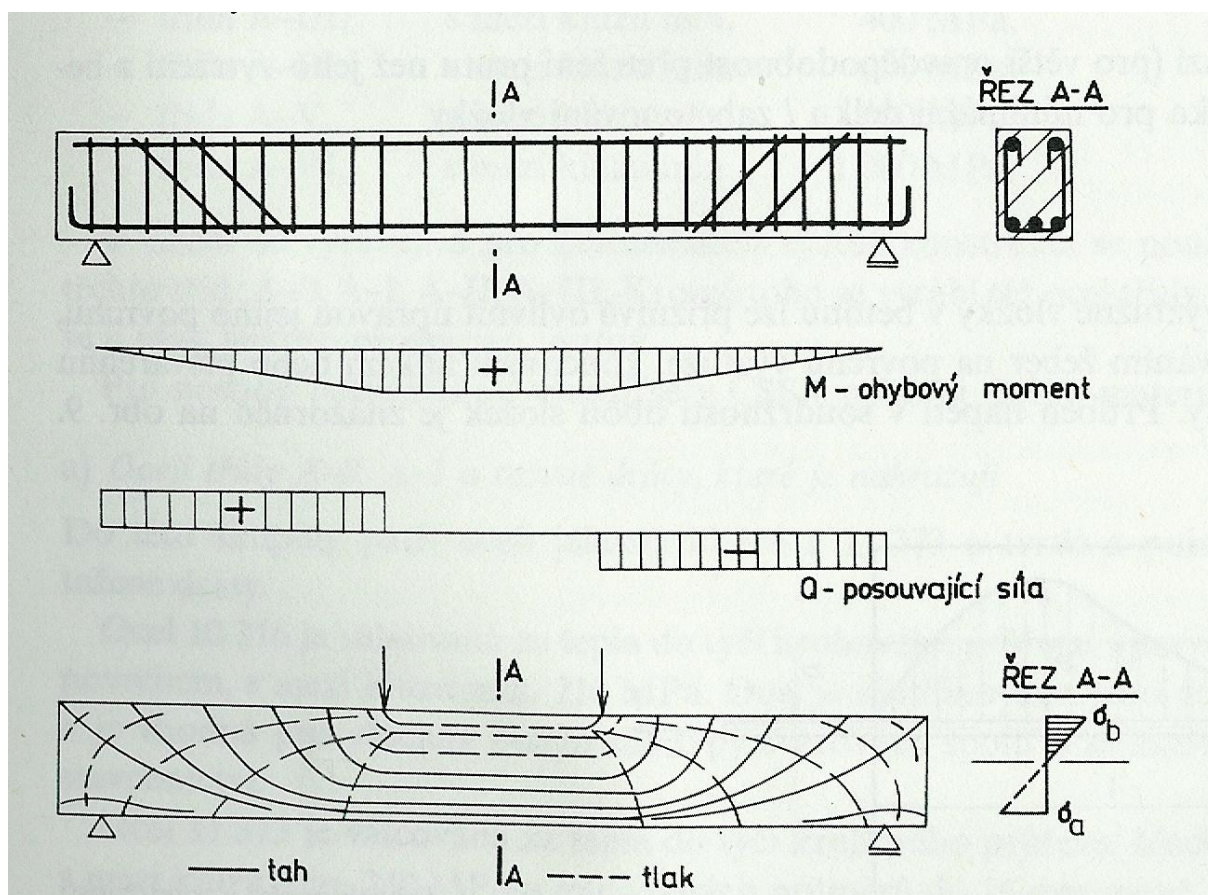
Obrázek 9-6: Spoj příčné koncové desky.

9.3 Technologická příprava výroby – principy návrhu konstrukcí

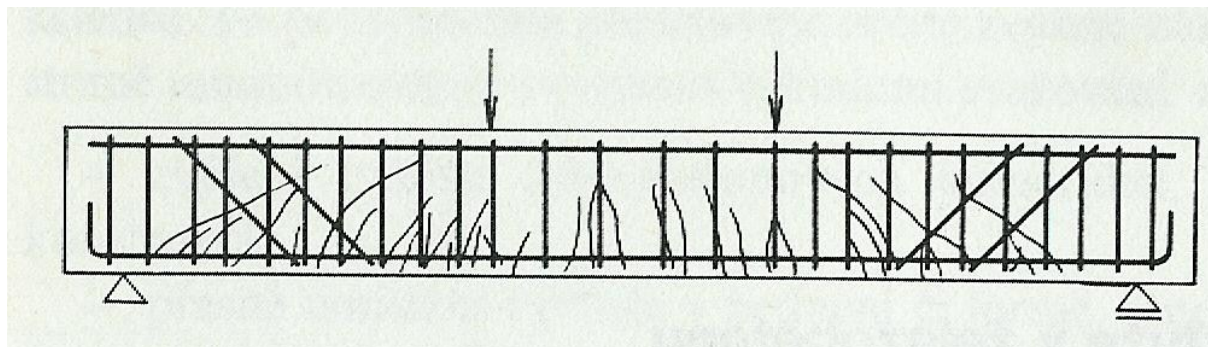
Beton má obdobné vlastnosti jako některé přirozené kameny. Vzdučuje dobře tlaku, současně je křehký, neschopný větší deformace a má malou pevnost v tahu a smyku. Tato nevýhoda se odstraňuje ocelovými vložkami, umístěnými v tažené oblasti tak, aby přejímaly a přenášely tahové síly. Při takovém uspořádání beton a ocel společně staticky působí a poskytují výborné stavivo pevné v tlaku i tahu. Průběh hlavních napětí v trámu namáhaném na ohyb zároveň objasňuje statické působení betonu a výztuže. Beton se uplatňuje v části průřezu namáhané tlakem, a výztuž v části namáhané tahem [81].

Tvar výztuže by měl být shodný s průběhem tahových napětí. Ovšem je odvozeno a experimentálně ověřeno, že systém stejné únosnosti dostaneme i při zjednodušeném tvaru výztužných vložek. Nosník je vyztužen přímými pruty a vložkami s ohyby, které spolu s třmínky zajišťují přenášení smykových sil. Trhliny způsobují, že tažený beton není tahem namáhan a veškerý tah přejímá jen výztuž [82].

Základní složky železobetonu, beton a ocel, musí působit navzájem. Mezi nimi nastává soudržnost, způsobená přilnavostí betonu k ocelovým výztužným vložkám. Při zabetonování do bloku a tažení silou F se vložky spíše přetrhnou, než z betonu vytrhnou.



Obrázek 9-7: Deskové typy konstrukcí.



Obrázek 9-8: Železobetonový trám se zakresleným průběhem trhlin [84].

Beton i ocel mají přibližně stejný součinitel tepelné roztažnosti. Kdyby tomu tak nebylo a ocel by se např. při zvýšení teploty roztahovala více než beton, porušila by se soudržnost mezi oběma složkami.

Spojení oceli a betonu je výhodné i z hlediska ochrany ocelových vložek betonem před korozi. Aby bylo zajištěno účinné obalení vložek ochranným betonem, jsou normou předepsány minimální tloušťky krycích vrstev.

Oceli pro betonářskou výztuž je souborný název pro ocelové za tepla válcované tyče a svitky, ocelové výztužné dráty, svařované výztužné sítě z drátů tažených za studena, rozvinuté výrobky, svařované příhradové nosníky, betonářskou ocel s vtisky, pozinkovanou

betonářskou ocel, betonářskou ocel s epoxidovým povlakem, korozivzdornou betonářskou ocel, ocel na předpínací výztuž apod.

Při výrobě svařovaných výztužných prvků se používají dva druhy ocelí [80]:

- oceli za tepla válcované a dále nezušlechťované
- oceli za tepla válcované a dále zpevněné tvářením za studena (tažení nebo zkrucování)

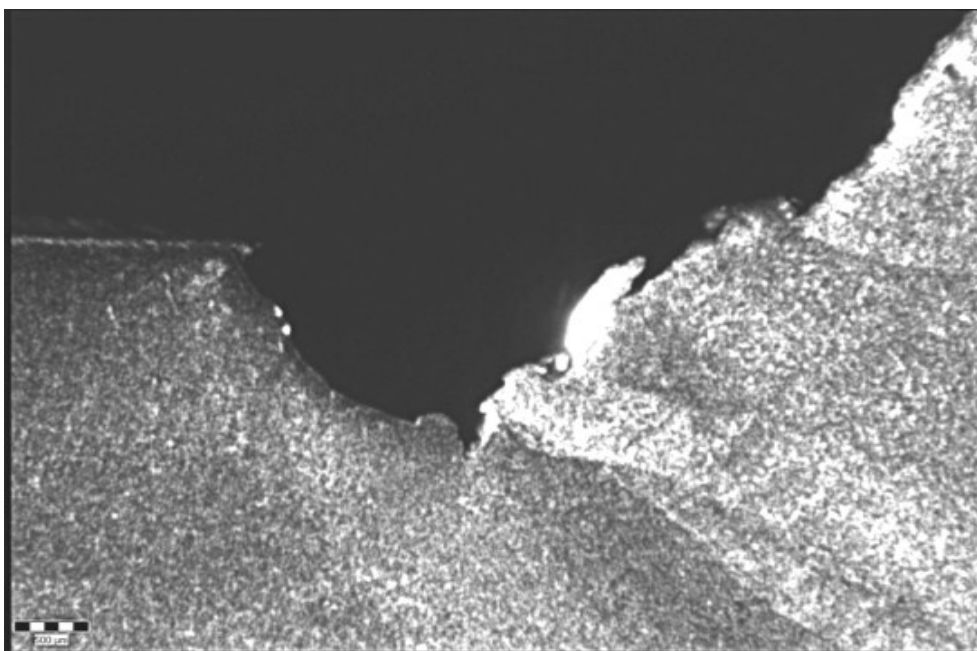
Požadovaných pevnostních vlastností betonářských ocelí je dosahováno poměrem perlitu k feritu a vazbou feritu s manganem a křemíkem. Oba tyto prvky jsou ve feritu rozpustné. Mangan je prvek austenitotvorný, zvyšuje prokalitelnost ocelí. Jeho obsah ve svařitelných ocelích nemá být větší než 1,6 %. Křemík je prvek feritotvorný, snižující rozpustnost uhlíku v austenitu. Při větším obsahu ovlivňuje nepříznivě sklon oceli k praskavosti. Ve svařitelných betonářských ocelích nemá obsah křemíku překročit 0,8% [88].

Při svařování betonářských ocelí obsahujících větší množství uhlíku je tedy nutno dbát na to, aby objem kovu zahřátého do plastického či tekutého stavu byl dostatečně velký. Toho lze dosáhnout použitím vhodných svařovacích parametrů tj. delší dobou svařování při nižším svařovacím proudu [79].

Nezbytným průvodním jevem při svařování je ovlivnění základního materiálu teplem. Při svařování ocelí zpevněných tvářením za studena, které obsahují poměrně malé množství uhlíku, je nutno požadovat, aby do místa svaru bylo přivedeno co nejmenší množství tepla, aby ohřev oceli na teplotu nad 400°C byl co nejkratší a aby ohřevu byla vystavena co nejmenší část průřezu tyče. Důsledkem ohřevu se může zhoršit pevnost oceli [80].

Vady svarových spojů betonářské výztuže [18]:

Příčiny vzniku vad jsou závislé na druhu svařovaného materiálu a metodě svařování. Klasifikaci vad ve svarových spojkách při tavném svařování uvádějí normy ČSN EN ISO 6520-1,2 A ČSN EN ISO 5817.



Obrázek 9-9: Zápal s vrubem do TOO (10x) [18].

Rozdělení podle tvaru:

- **Bodové** – mikropóry, malé sférické vměstky
- **Plošné** – trhliny, mikrotrhliny, studené spoje, neprůvary
- **Prostorové** – plynové dutiny, vměstky (struskové, tavidlové, oxidické, kovové), staženiny

Rozdělení podle polohy:

- **Vnitřní** – plynové dutiny, staženiny, vměstky, studený spoj, neprůvar v kořeni
- **Povrchové (vnější)** – trhliny, mikrotrhliny, studené spoje, neprůvary, póry

Normy třídí vady do 6 skupin: trhliny (skupina1), dutiny (skupina2), vměstky (skupina 3), vady odtavování a závaru (skupina4), vady tvaru (skupina5) a různé vady (skupina6).



Obrázek 9-10: trhlina zasahující téměř do poloviny TMZ oblasti (50x) [18].



Shrnutí kapitoly

Výsledkem studia této kapitoly by měl být základní přehled a zásady pro navrhování a provádění svařovaných konstrukcí betonářských výztuží.



Kontrolní otázky

1. Vyjmenujte typy svarových spojů používaných při svařování betonářských výztuží.
2. Jakým způsobem se tepelně zpracovávají tyče betonářské výztuže při jejich výrobě?
3. Jak ovlivní vnesené teplo při svařování okolí svarového spoje betonářské výztuže?
4. Jaké vady svarových spojů se vyskytují při svařování betonářských výztuží?
5. Je nutné dodržovat speciální předpisy při svařování betonářských výztuží (příp. jakých) nebo ne?

10 Tlakové nádoby

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- identifikovat jednotlivé typy tlakových nádob.
- Získáte informace o výrobě tlakových nádob, jejich dílců a technologickou přípravu výroby.

Budete umět

Budete schopni:

- řešit problematiku výroby tlakových nádob.

Budete schopni



Výklad

10.1 Tlakové nádoby

Kapitola seznamuje s problematikou konstrukčních návrhů těles tlakových nádob, nátrubků a dalších dílů s ohledem na umísťování svarových spojů z hlediska namáhání svarů, technologické proveditelnosti svarů a pracovních teplot (creep, kryogenní teploty, tlakové nádoby jaderných elektráren, produktovody, aj.). Informace o tlakových nádobách jsou rozšířeny o evropskou legislativu (normy a předpisy) týkající se tlakových nádob.

Je nutné mít na mysli souvislosti mezi návrhem tlakové nádoby z hlediska výpočtu, konstrukčním řešením jednotlivých uzlů tlakové nádoby, druhem média v tlakové nádobě, způsobem namáhání tlakové nádoby a její provozní teplotu s ohledem na bezpečnost provozování tlakové nádoby [56].

Tlaková nádoba je uzavřená nádoba určená k akumulaci plynů nebo kapalin při tlaku podstatně se lišícího od okolního tlaku. Tlakové nádoby patří do skupiny konstrukčních celků, které mají za úkol uskladňovat, zajišťovat přesun, upravovat určitý druh média za přesně stanovených podmínek z hlediska provozu a bezpečnosti. Nádoby jsou různých konstrukcí a jsou typicky používány jako zásobníky tlakového vzduchu, tlakové vody, expanzní nádoby, uvolňovače, větrníky, vzdušníky, expandéry, nádrže pro pitnou vodu a pro jiné podobné účely [61].

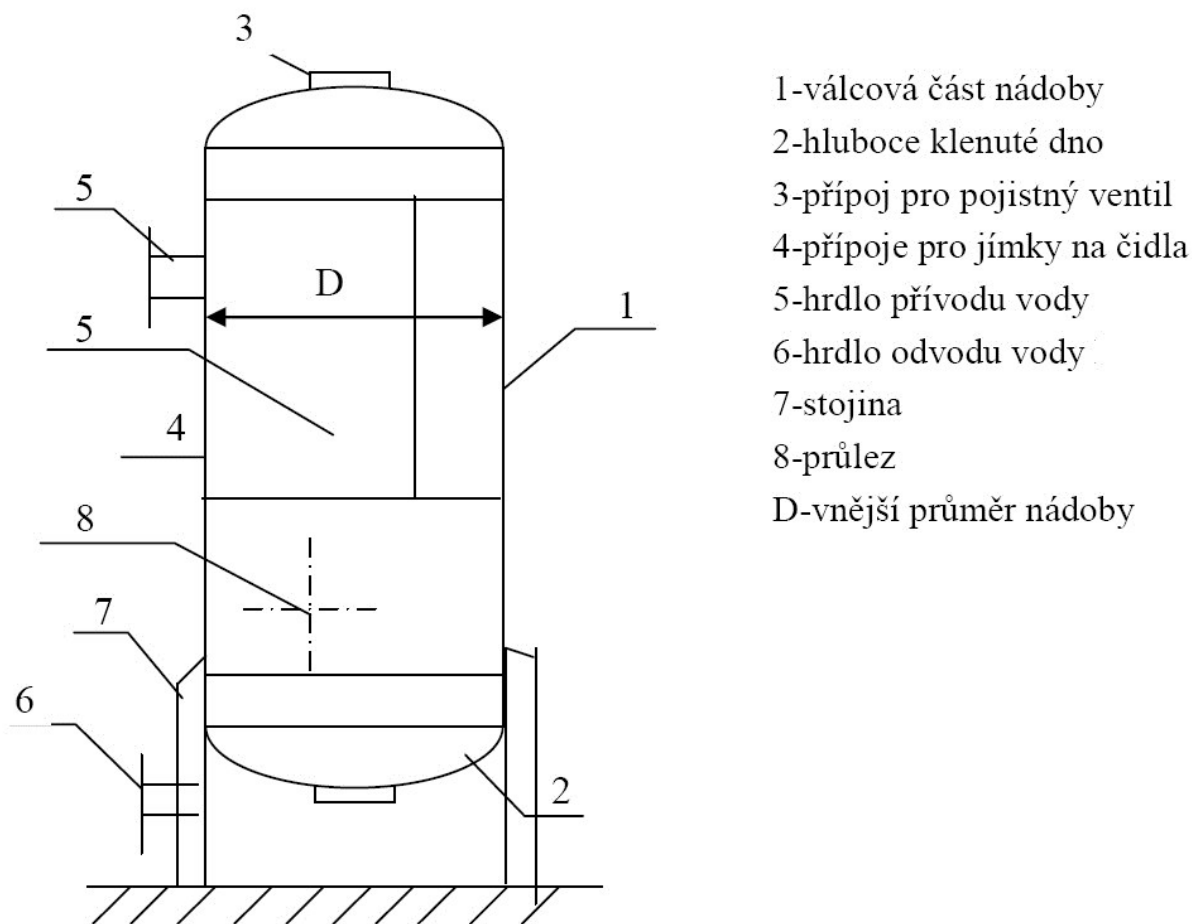
Tlakové nádoby se vyrábějí pro všechny druhy pracovních médií (pracovní látka je obvykle voda, vzduch, ropné látky či jiné kapaliny a plyny) a pro zákazníkem požadované tlaky a teploty. Kromě typových výrobků se vyrábějí i atypické nádoby ve všech provedeních co do objemu, tlaku a teploty pracovní látky a počtu hrdel. Podle požadavků se vyrábějí i víceprostorové tlakové nádoby. Obvykle se vyrábějí jako válcové nádoby, které jsou na koncích uzavřeny klenutými dny [57].

Typy tlakových nádob:

- tlakové nádoby stojaté (vertikální) – vzdušníky, větrníky, expandéry, kumulační nádoby, výměníky, ohřívače vody, atd.,
- tlakové nádoby ležaté (horizontální);
- tlakové nádoby jednoprostorové a víceprostorové.

Při výrobě tlakové nádoby je nutné mít na zřeteli:

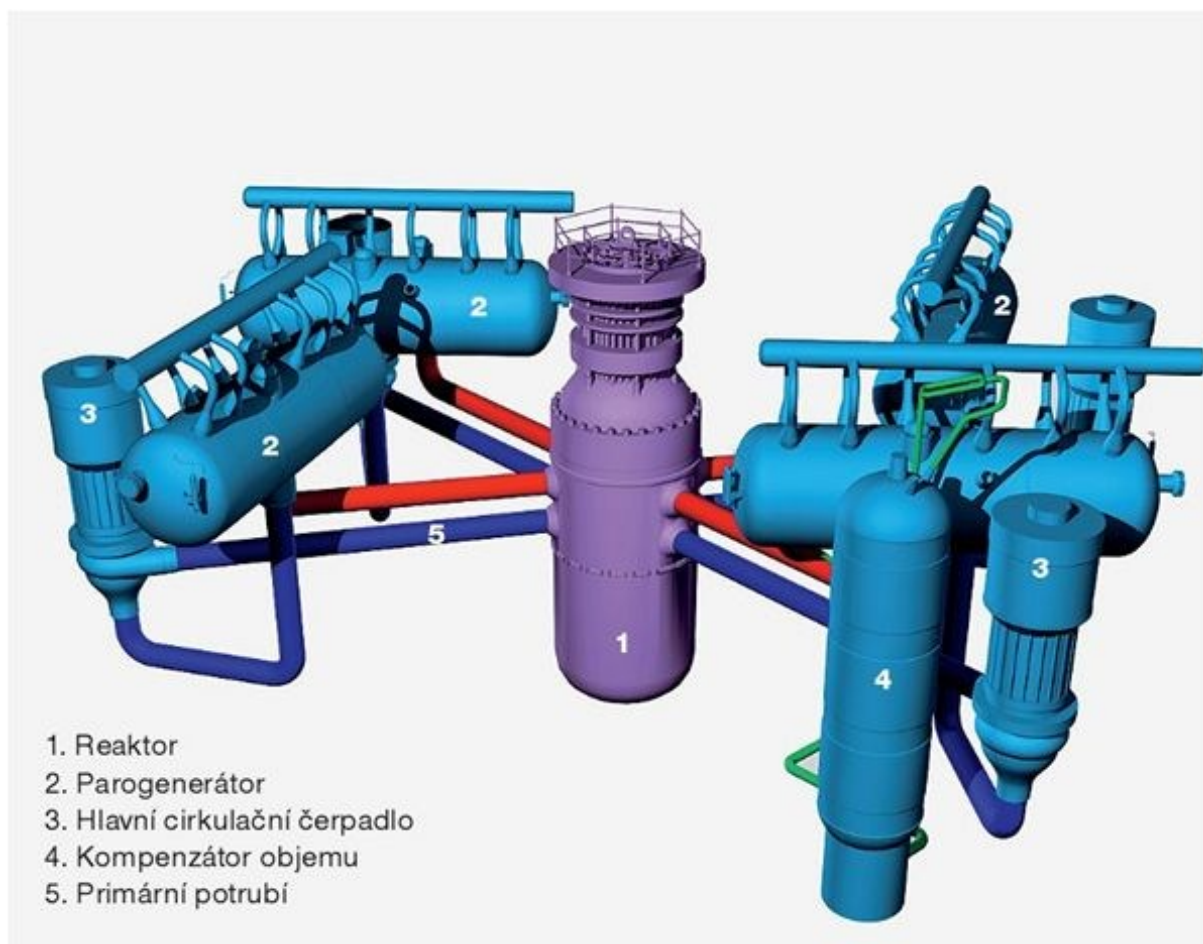
- návrh a výpočet konstrukce,
- volba vhodných materiálů,
- konstrukční úpravy vyžádané provozními zkušenostmi,
- vhodná technologie výroby,
- dodržování předepsaného výrobního postupu,
- systém zabezpečování jakosti,
- stanovení podmínek pro provoz konstrukce,
- návrh metod a rozsahu nedestruktivních kontrol během provozu,
- stanovení podmínek řízeného stárnutí konstrukce.



Obrázek 10-1: Základní části tlakové nádoby.



Obrázek 10-2: Příklady tlakových nádob.



Obrázek 10-3: Tlakový celek primárního okruhu Jaderné elektrárny Temelín [18].

10.2 Normy a předpisy pro výrobu tlakových nádob

PED-ES 97/23 EC - Tlaková zařízení jsou regulovány směrnicí evropského parlamentu a rady 97/23/ES. Text této směrnice byl převeden do právního řádu České republiky do nařízení vlády č. 26/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na tlaková zařízení, ve znění nařízení vlády č. 621/2004 Sb. [63], [64].

Nařízení vlády č. 26/2003 sb. – tlakové nádoby. Tímto nařízením se v souladu s právem Evropských společenství 1) stanoví technické požadavky na tlaková zařízení a sestavy (několik tlakových zařízení sestavených výrobcem tak, že představují ucelenou funkční jednotku) s nejvyšším dovoleným tlakem (PS) větším než 0,5 bar [63].

ČSN EN ISO 15614-1 – Tato evropská norma je částí skupiny norem, jejíž podrobné rozdělení je uvedeno v EN ISO 15607:2003, příloze A. Tato norma stanovuje způsob kvalifikace předběžné specifikace postupu svařování zkouškami postupu svařování. Tato norma definuje podmínky pro provádění zkoušek postupu svařování a rozsah kvalifikace pro postupy svařování pro všechny praktické svařečské operace v oblasti proměnných, uvedených v kapitole 8. Zkoušky musí být provedeny podle této normy. Výrobními normami mohou být požadovány doplňující zkoušky. Tato norma platí pro obloukové a plamenové svařování ocelí všech tvarů výrobků a pro obloukové svařování niklu a slitin niklu všech tvarů výrobků [61].

ČSN EN ISO 12952 - vodotrubné kotle – materiály a části kotlů namáhaných tlakem. Tato evropská norma platí pro vodotrubné kotle s objemem

pro výrobu páry a/nebo horké vody >2 litry při dovoleném provozním přetlaku >0,5 bar a teplotě >110 °C, stejně jako pro pomocná zařízení (ostatní provozní zařízení). Účelem této evropské normy je zajistit, aby se stupeň nebezpečí vzniklý při provozu vodotrubných kotlů snížil na minimum a aby byla zajištěna odpovídající bezpečnost proti vzniku nebezpečných stavů. Stanovuje minimální požadavky na dané složení vody s cílem omezit korozi, usazování kalu nebo tvoření usazenin, což může vést k nežádoucímu poškození nebo jiným provozním problémům. Norma byla vypracována na základě předpokladu, že uživatel této evropské normy má dostatečné znalosti o konstrukci a provozu kotle, jakož i odpovídající znalosti o chemických vlastnostech vody a páry.

K dalším normám patří:

ČSN EN 13 445 -1 až 6 – Netopené tlakové nádoby.

ČSN EN 13 480 -1 až 6 – Kovová průmyslová potrubí.

ČSN EN 12 953 -1 až 13 – Válcové kotle.

ČSN EN 764 -1 až 7 – Tlaková zařízení.

ČSN EN 13 458 – Kryogenické nádoby – Stabilní vakuově izolované nádoby.

ČSN EN 13 530 – Kryogenické nádoby – Velké přepravní vakuově izolované nádoby,

ČSN EN 13 314 a ČSN EN 13 317 – Nádrže na přepravu nebezpečných látek.

ČSN EN 12 732 – Svařované ocelové potrubí - Funkční požadavky

10.3 Materiály tlakových nádob

Materiály používané pro výrobu tlakových nádob je nutné dělit dle jejich použití v souladu s platnými normami a předpisy. Jedna ze skupin jsou materiály pracující za zvýšených teplot (např. v energetice) [87]:

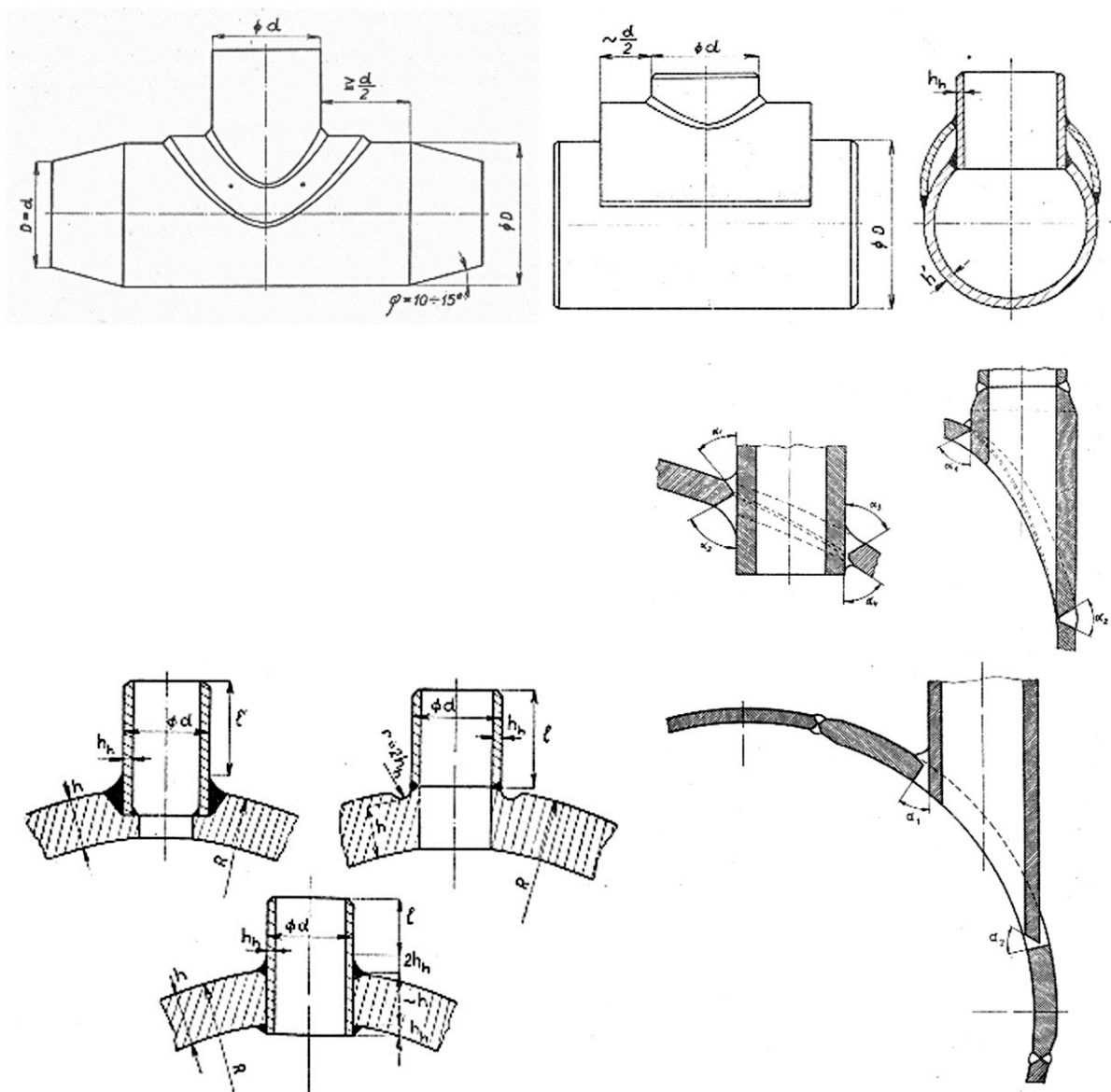
- Do této skupiny materiálů řadíme oceli nízkolegované chromové, chrom-molybdenové a chrom molybden-vanadové, které jsou určeny pro práci za teplot nad 450 °C. Tyto ocele odolné tečení jsou konstrukční materiály na elektrárenské kotlové systémy, kotlová tělesa, potrubní systémy a jiné vysoce namáhané součásti.
- Na svařování Cr, CrMo a CrMoV ocelí je možno použít všechny svařovací technologie, které se používají pro svařování nelegovaných ocelí.
- Elektrody zvyšující obsah chrómu ve svarovém kovu vyžadují použití krátkého svařovacího oblouku, aby se zabránilo vyhoření Cr a nasycení povrchu dusíkem.
- **Materiály použité k výrobě tlakového zařízení musí být vhodné po celou dobu předpokládané životnosti“. Materiály součástí vystavených tlaku musí mít vhodné vlastnosti za všech provozních podmínek a musí být dostatečně tažné a houževnaté.**
- **Materiály musí být odolné proti křehkému lomu.**

- hodnota tažnosti nesmí být menší než 14 %.
- V-vrubem dle mezinárodní normy ISO nesmí být menší než 27 J.

10.4 Technologičnost konstruování

V kapitole 10.1 jsou uvedeny jednotlivé části tlakových nádob, u kterých lze očekávat problémy při svařování. Mimo hlavní svarové spoje pláště nádoby, lze z hlediska provozu a bezpečnosti označit jako rizikové svarové spoje nátrubků na nádobě. Důvodem je jejich umístění, rozměry, horší přístupnost při svařování, atd. Proto je nutné volit svarové spoje, abychom minimalizovali výskyt vad.

Na následujících schématech (obr. 10-4) jsou patrné typy nátrubků a přírub a jejich možnosti přivaření k tlakovým nádobám [18].



Obrázek 10-4: Příklady řešení svařování nátrubků tlakových nádob [18].

10.5 Metody svařování tlakových nádob

Pro svařování tlakových nádob lze použít např. metody svařování:

- 111 ruční obloukové svařování obalovanou elektrodou
- 114 svařování plněnou elektrodou (bez ochranného plynu)
- 121 svařování pod tavidlem drátovou elektrodou
- 131 (MIG) svařování tavící se elektrodou v inertním ochranném plynu
- 135 (MAG) svařování tavící se elektrodou v aktivním ochranném plynu
- 136 svařování plněnou elektrodou v aktivním ochranném plynu
- 141 (TIG) svařování wolframovou elektrodou v neutrálním ochranném plynu
- 15 plazmové svařování
- 311 svařování kyslíko-acetylenovým plamenem

Metody svařování musí být voleny v souladu se schválenými postupy svařování, svarové spoje musí být prováděny svářeči s platnými zkouškami (s platností pro svařování tlakových nádob).



Shrnutí kapitoly

Výsledkem studia této kapitoly by měl být základní přehled o problematice rozdělení, legislativních podmínkách a výrobě tlakových nádob z hlediska technologičnosti konstrukce.



Kontrolní otázky

1. Vyjmenujte typy tlakových nádob.
2. Je nutné se řídit zvláštními předpisy při návrhu, svařování a provozování tlakových nádob?
3. Jaké metody svařování jsou vhodné pro svařování tlakových nádob?
4. Definujte možné problémy při svařování plášťů a nátrubků tlakových nádob.

11 Svařované hliníkové konstrukce

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- identifikovat jednotlivé typy hliníkových konstrukcí.
- Získáte informace o základních aspektech výroby hliníkových konstrukcí a technologické přípravě výroby.

Budete umět

Budete schopni:

- řešit problematiku přípravy výroby hliníkových konstrukcí.

Budete schopni



Výklad

11.1 Úvod

Použití lehkých slitin na bázi hliníku je moderním trendem ve strojírenství a stavebnictví. Výhodou je odolnost proti korozi, houževnatost za nízkých teplot a příznivý poměr pevnosti a hmotnosti. Hmotnost má význam při návrhu přemístitelných konstrukcí a lešení. Charakteristiky konstrukčních hliníkových slitin jsou ovlivněny chemickým složením a tepelným zpracováním materiálu [32].

Navrhování hliníkových konstrukcí je založeno na analogii s konstrukční ocelí. Ocel je uvažována jako referenční materiál a zvláštnosti hliníkových slitin jsou doplněny do ocelářské praxe ověřených návrhových postupů. Hlavní odlišností je omezená tažnost materiálu a absence prodlevy na mezi kluzu, používá se mez úměrnosti f_0 . Zatímco u oceli se v Evropě předpokládá využití pouze základního materiálu S355, uvažuje se u každé slitiny a u její každé tepelné úpravy se specifickými hodnotami mechanických vlastností [30].

11.2 Základní vlastnosti hliníku a hliníkových slitin [41]

Hliníkové konstrukční materiály jsou rozděleny do dvou základních skupin:

- a) technický hliník (obsahuje min. 99 % Al)
- b) hliníkové slitiny (s obsahem legur min. nad 1 %)

Ad a)

Kvalita technického hliníku závisí především na jeho čistotě. Během výrobního procesu technického hliníku se do tavby mohou dostat nečistoty, zejména z rudy (bauxit), která obsahuje železo a křemík [41].

Tyto nečistoty mají vliv na svařitelnost a také na mechanické vlastnosti technického hliníku. Zpravidla platí, že čím má hliník méně nečistot, tím je jeho kvalita a jeho fyzikální vlastnosti lepší.

Ad b)

V praxi se více setkáváme se slitinami hliníku. Mezi hlavní legující prvky slitin hliníku patří mangan, hořčík, měď, zinek a křemík (Mn, Mg, Cu, Zn, Si) [18].

Tyto slitiny jsou převážně nízkolegované, protože rozpustnost legujících prvků v hliníku je relativně malá. I přes malou rozpustnost legujících prvků mohou být mechanické vlastnosti hliníku značně odlišné. Proto se často hliníkové slitiny dělí podle chemického složení do těchto skupin dle tab. 11-1 [30].

Tabulka 11-1: Označení hliníku – číselné značení

Skupina	Hlavní prvky slitiny	Svařitelnost
1xxx	Al min 99,00%	dobrá
2xxx	Cu	obtížná
3xxx	Mn	dobrá
4xxx	Si	dobrá
5xxx	Mg	dobrá
6xxx	Mg-Si	obtížná
7xxx	Zn	obtížná
8xxx	ostatní	obtížná
9xxx	neobsazeno	

Technický hliník a jeho slitiny způsobují ve svařování určité problémy, které je nutné před svařováním eliminovat vlastnosti hliníkových konstrukčních materiálů je možné shrnout do následujících bodů [32]:

1. Hliník a hliníkové slitiny vytvářejí na svém povrchu vrstvu Al_2O_3 o vysokém bodu tání cca 2 050°C, což je asi 3x vyšší než bod tání čistého hliníku Al.
2. Povrchová vrstva Al_2O_3 je elektricky nevodivá.
3. Hliník a hliníkové slitiny mají velkou tepelnou vodivost, což sťažuje podmínky při místním natavování hliníku obloukem.
4. Nízký modul pružnosti oproti uhlíkovým ocelím může způsobit problémy s deformací svarů a svařovaných konstrukcí.

5. Některé vytvrditelné hliníkové slitiny ztrácejí při teplotě nad 200°C svou pevnost.
6. Hliník a hliníkové slitiny jsou schopny v tekutém stavu rozpouštět vodík ve velkém množství, čímž mohou vzniknout dutiny ve svarovém spoji.
7. Plechy malých tloušťek jsou dodávány ve vytvrzeném stavu a v místě svaru a v TOO jejich pevnost klesá.

Tepelné zpracování:

Tepelné zpracování hliníkových slitin se provádí z důvodů zvýšení jejich mechanických vlastností, respektive pevností. Je možné je rozdělit do tří typů:

- rozpouštěcí žíhání
- kalení
- vytvrzování

V případě, že se svařuje tepelně zpracovaná slitina hliníku, dochází při ohřevu nad 200°C k vylučování nové fáze a slitina se dostane do vyžíhaného stavu. Vyžíhaná slitina hliníku tak ztrácí dosaženou pevnost při předešlém tepelném zpracování. Tento proces nastává při svařování a je nutné počítat se snížením pevnosti konstrukce v oblasti TOO a svarů, kde je pevnost a tvrdost nejnižší [34], [40].

11.3 Technologie svařování použitelné pro výrobu konstrukce

Podmínky svařitelnosti:

Svařitelnost hliníkových slitin se hodnotí především podle pevnosti v tahu svarových spojů a chemického složení materiálu.

Základní podmínky svařování hliníkových slitin jsou následující [34], [35]:

- Metodou TIG se doporučují svařovat tloušťky 1–10 mm.
- Využití střídavého proudu, změna polarity během svařovacího procesu mezi hořákem a svařovaným materiálem zajišťuje tzv. čistící účinek
- Ochranný plyn Ar, Ar + He.
- Vhodné svařovací parametry.
- Svarové spoje se dále tepelně nezpracovávají.
- Volba vhodného přídavného materiálu (většinou podobného chemického složení jako základní materiál).
- Pro svařování slitiny Al-Cu-Mg se používá výhradně přídavný materiál AlSi5 nebo AlMg5.
- Pro svařování slitiny Al-Mg-Si a Al-Zn-Mg se používá přídavný materiál AlMg5.
- Odstranění povrchové oxidické vrstvy v celé oblasti svarového spoje a to v šířce min. 15 mm od svarových ploch na obou stranách svařovaného plechu.

- K vhodným metodám svařování hliníku patří: TIG (141), MIG (131), plazmové svařování (15), svařování ručně obalovanou elektrodou (111), FSW - Friction Stir Welding [41].

11.4 Příklady reálných aplikací v praxi



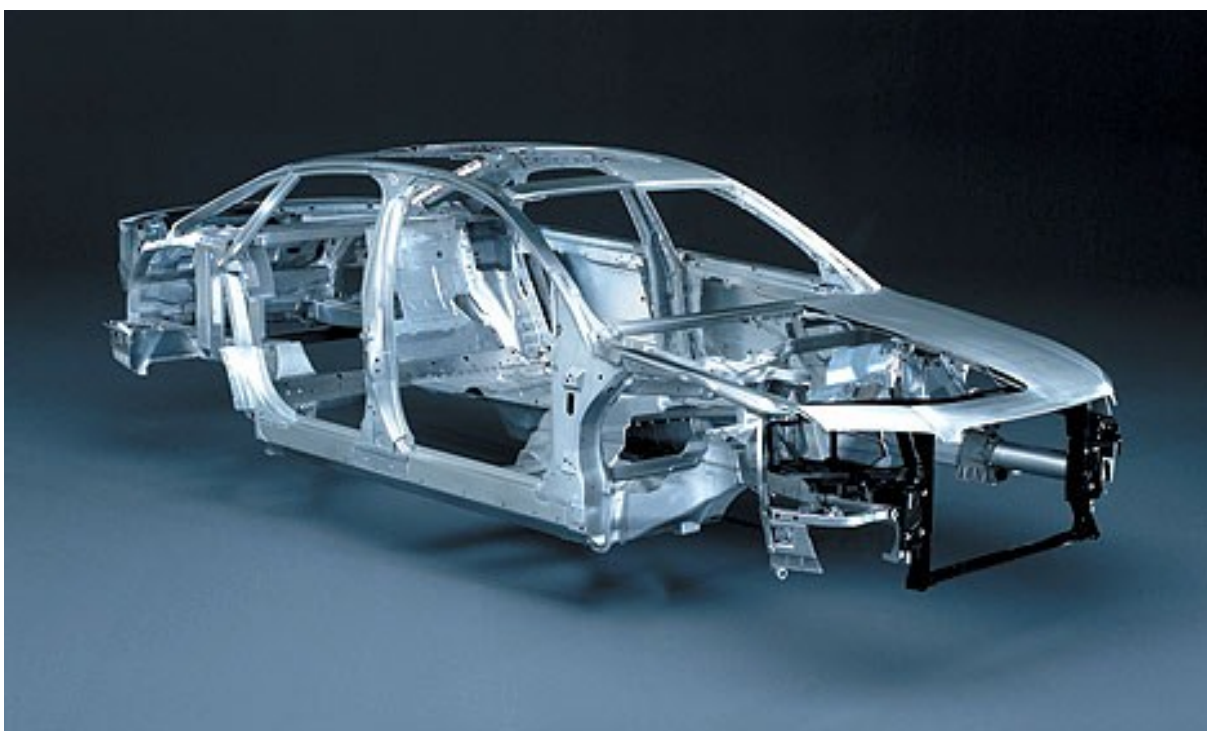
Obrázek 11-1: Linka na zpracování lososů Aljaška (hydraulický zvedák s podávací vanou).



Obrázek 11-2: Pumpa na ryby s přepouštěcí nádrží Aljaška.



Obrázek 11-3: Rohový uzel fotbalové brány [39].



Obrázek 11-4: Karoserie Audi A8.



Obrázek 11-5: Letecký průmysl.

11.5 Normy a předpisy

Norma ČSN EN ISO 9692-3 se týká svařování hliníku a jeho slitin a parametrů charakterizujících přípravu svarových ploch a jejich sestavení. Uvádí nejčastější tvary a rozměry, se kterými se můžeme setkat. V normě uvedená doporučení byla sestavena na základě zkušeností a obsahují rozměry svarových ploch, které zpravidla zajistí vhodné podmínky ke svařování. Navazuje na normu ČSN EN 29692 a ČSN EN ISO 9692-2, ve které jsou uvedena obecná doporučení pro obloukové svařování a svařování pod tavidlem.

Norma ČSN EN 1011-4 se týká svařování hliníku a jeho slitin (dále jen hliníku) a uvádí všeobecná doporučení pro tavné svařování hliníku, to je pro správné zacházení s hliníkem, provádění svářečských prací a jejich kontrolu. Norma uvádí hlavní faktory ovlivňující svařování hliníku, jako jsou základní materiál, svařovací a pomocné materiály, konstrukce, postup svařování, svařovací zařízení, příprava svarových spojů, atd.

ČSN EN ISO 15614-2 Tato evropská norma je částí skupiny norem, jejíž podrobné rozdělení je uvedeno v EN ISO 15607:2003, příloze A. Tato norma stanovuje způsob kvalifikace předběžné specifikace postupu svařování zkouškami postupu svařování. Tato norma definuje podmínky pro provádění zkoušek postupu svařování hliníku a jeho slitin, rozsah kvalifikace pro postupy svařování pro všechny praktické svářečské operace [37].

11.6 Problémy při výrobě zadaných konstrukcí, příp. návrh alternativního řešení

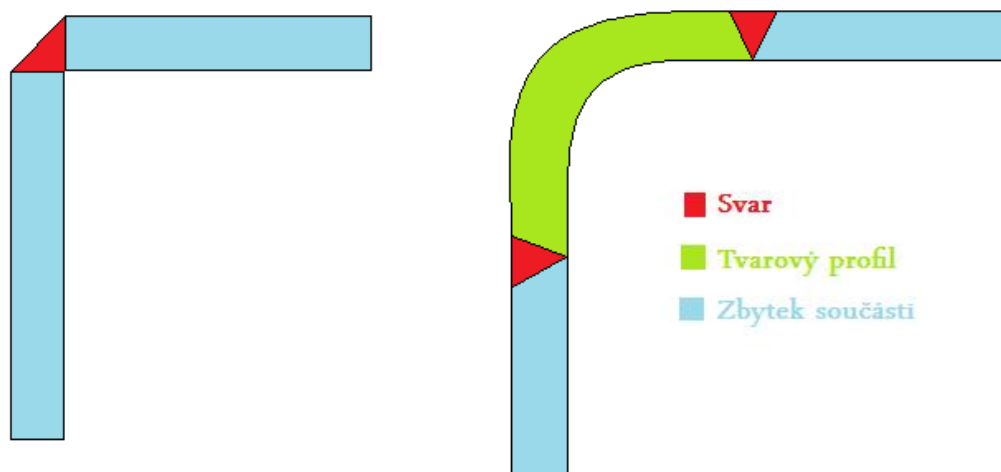
Některé druhy svaru hliníkových konstrukcí se liší od klasických svarových spojů oceli. Při svařování hliníkových konstrukcí je nejvhodnější používat tupých spojů a vyhnout se spojům na namáhaných částech dílce.

Například se nedoporučuje použití koutových spojů, pokud lze tento spoj nahradit vytlačovaným profilem, který je přivařen tupým svarovým spojem, viz obr. 11-6 až 11-8.

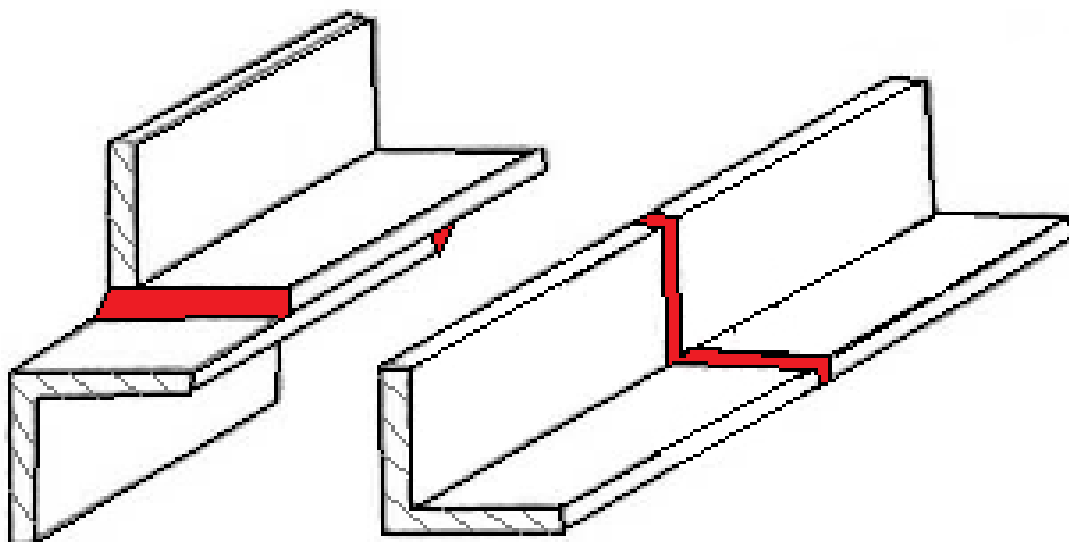


Obrázek 11-6: Nahrazení koutového svaru profilem tvaru T [18].

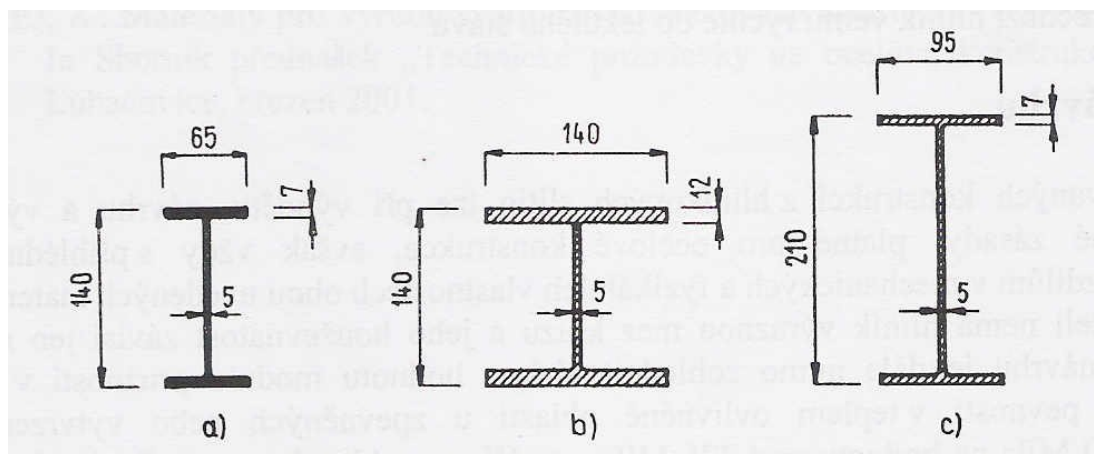
Tři zobrazené nosníky mají stejný průhyb, avšak při stejné výšce je nosník z Al-slitiny o 18% lehčí. Vyšší nosník z Al-slitiny je o 50% lehčí než nosník ocelový. Nosníky z Al-slitin se navrhují přednostně jako vetknuté nebo příhradové, protože mají menší průhyb než nosníky prosté nebo plnostěnné. Tlačené pruty z Al-slitin se navrhují s velkým kvadratickým momentem průřezu a s pokud možno malou vzpěrnou délkou, protože štíhlý prut z Al slitiny má přibližně třikrát menší únosnost ve vzpěru než stejný prut z oceli.



Obrázek 11-7: Nahrazení rohového spoje oblým profilem [18].

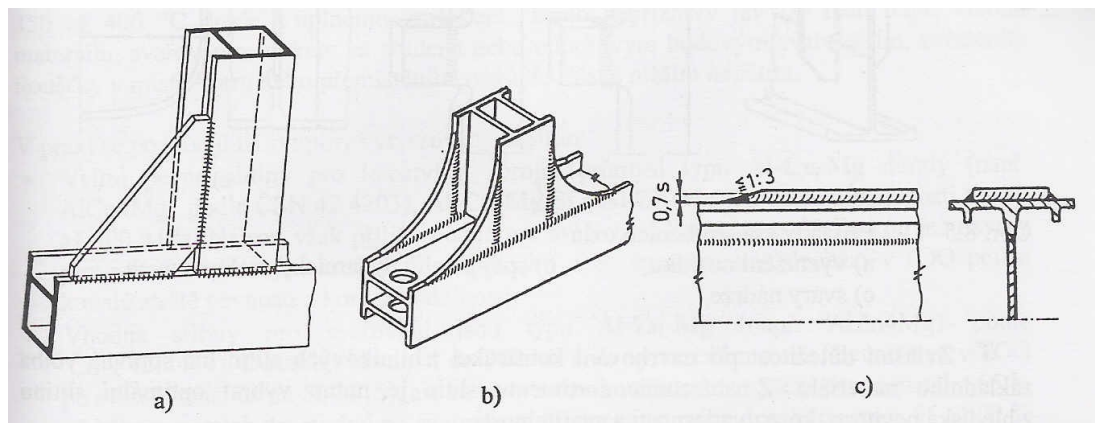


Obrázek 11-8: Přeplátování je v tomto případě opět nahrazeno tupým svarovým spojem.



Obrázek 11-9: Porovnání průřezů nosníků o stejném průhybu [86]
a) nosník ocelový b), c) nosníky z Al-slitiny

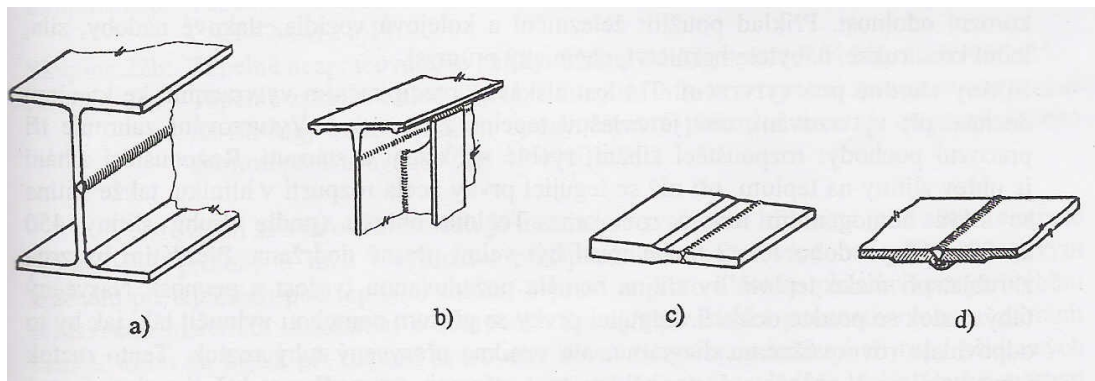
Návrh svařované konstrukce je nutno provádět tak, aby se hospodárně využily přednosti protlačovaných a hraněných plechů. Používat pokud možno svary, které je možno provádět mechanizovanou nebo automatizovanou metodou svařování v poloze vodorovné shora. Omezit montážní svary, neboť znamenají možnost vzniku méně jakostních svarů. Z pevnostních důvodů se doporučuje navrhovat přednostně tupé svary. Příčné tupé svary umísťovat do míst malého namáhání. Zásadně by se neměly používat spoje přeplátované. Z kořenové strany je nutno při přípravě hran pro tupé svary provést malé zkosení hran pod úhlem 45° , aby se zabránilo vzniku vruby v kořeni. Koutové svary používat pouze u podélných svarů namáhaných smykovým napětím od ohybu. Čelní koutové svary jako nosné svar nepoužívat. Při návrhu konstrukce pro dynamické namáhání je nutno zohlednit velkou citlivost Al-slitin na vruby a minimalizovat možnosti jejich vzniku. V návrhu dodržovat co možno nejrovnoměrnější průběh silového toku v průřezu konstrukce, provádět postupné přechody tuhosti a zaoblení, odstraňovat vnější i vnitřní vruby. Hromadění svarů při dynamickém zatížení není dovoleno, pokud možno nepoužívat svary v poloze svislé nad hlavou. Není dovoleno svařovat na plochách, které byly zpevněny tvářením za studena.



Obrázek 11-10: Příklady návrhu řešení svařovaných uzlů [86].

- a) spoj staticky namáhaný
- b) spoj dynamicky namáhaný
- c) zesílení pásnice

Při dimenzování je nutno u svarového spoje vzít v úvahu, že následkem vneseného tepla ztrácí Al-slitina v TOO část své pevnosti. Při výpočtu uvažovat, že změkčení zasahuje do 30 mm na každou stranu od osy svaru. Leží-li podíl změkčení pod 20%, zohlední se při výpočtu snížení pevnosti uvažováním menší účinné plochy svaru nebo menšího kvadratického momentu průřezu či menšího modulu odporu průřezu. Příklady návrhu svařované konstrukce z Al-slitin jsou uvedeny na obrázku. Svarové spoje umísťovat do míst malého napětí, tj. např. u nosníku do jeho neutrální osy, zabránit skokům v tuhosti, svary neumísťovat do míst se změnou silového toku, provádět zesílení v místě svaru.



Obrázek 11-11: Příklady zásad správného návrhu [86].

- a), b) nosníky
- c), d) spoje pro dynamické zatížení

11.7 Vady svarových spojů hliníkových konstrukcí

Mezi nejčastější vady spojené se svařováním hliníku patří:

- pórovitost svarových spojů
- praskavost svarových spojů za tepla (horké trhliny)
- praskavost svarových spojů za studena

Hlavní příčinou pórů ve svarovém spoji je vodík, který má rozdílnou rozpustnost v hliníku v tekutém nebo tuhém stavu.

Při svařování metodou MIG je pórovitost svarových spojů podstatně vyšší než při svařování metodou TIG.

Pro zamezení pórovitosti svarových spojů je nutné dodržovat následující zásady:

- a) vyloučení všech zdrojů vodíku, uhlovodíku a vlhkosti – použití inertních plynů velké čistoty, správná manipulace s materiálem (čistota svarových ploch),
- b) použití přídavných materiálů s nízkým obsahem vodíku,
- c) zabezpečení stability svařovacího procesu – použití vhodných svařovacích zařízení (s podavačem na hliníkové přídavné materiály), vhodné svařovací parametry,
- d) zabezpečení optimálního přenosu kovu v oblouku.

Vznik horkých trhlin je významně ovlivňován použitou metodou svařování, tepelným režimem a postupem svařování.

Z technologického hlediska se připisuje velký význam teplotě předehřevu svařovaných materiálů. S rostoucí teplotou předehřevu praskavost klesá. Rozhodující význam z hlediska praskavosti má totiž stav napjatosti v oblasti svarového spoje.

Opatření proti praskavosti svarových spojů za tepla:

- a) vhodná volba přídavných materiálů,
- b) snížení tepelného příkonu,
- c) použití předehřevu.



Shrnutí kapitoly

Kapitola pojednává o možnosti využití hliníku a hliníkových slitin v mnoha oblastech strojírenství, dopravy a stavebnictví. Svařované konstrukce z hliníku a hliníkových slitiny vykazují rozdílné mechanické vlastnosti, podle typu hliníkové slitiny, proto je nutné dodržovat stanovené postupy svařování včetně tepelného zpracování.



Kontrolní otázky

1. Definujte základní vlastnosti hliníkových slitin vhodných pro konstrukce z nich.
2. Které z procesů (např. žíhání, popouštění, tváření) má zásadní vliv na mechanické vlastnosti hliníkových slitin a jakým způsobem ovlivní proces svařování jejich vlastnosti?
3. Které metody svařování jsou vhodné pro provádění svarových spojů hliníkových konstrukcí a proč?
4. Definujte vhodné typy a umístění svarových spojů hliníkových konstrukcí oproti svarovým spojům ocelových konstrukcí.
5. Jaké vady svarových spojů se vyskytují při svařování hliníkových konstrukcí?

12 Konstrukce z plastů

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- identifikovat jednotlivé typy konstrukcí z plastů.
- Získáte informace o výrobě konstrukcí z plastu a technologické přípravě výroby.

Budete umět

Budete schopni:

- řešit problematiku přípravy výroby konstrukcí z plastů.

Budete schopni



Výklad

12.1 Úvod

Plasty a jejich aplikace zasahují v současné době význačně do našeho života a tvoří jeho nedílnou součást. Vzdrost jejich výroby a spotřeby podstatně převyšuje podobné ukazatele u materiálu klasických, tzn. kovových i nekovových. V oblasti stavebnictví i průmyslové výroby tvoří velkou skupinu výrobky svařované z plastových polotovarů, z trubek, desek, profilu a fólií. Svařování potrubí z plastu probíhá v různých prostředích, např. v bytové zástavbě, průmyslových objektech nebo i jen ve výkopech.

12.2 Rozdělení plastů

Pod pojmem plasty se rozumí plastické látky, které tvoří makromolekulární látky. Nejčastěji se rozlišují podle použité základní suroviny, zpracovatelnosti a strukturního uspořádání [48].

Rozdělení plastů:

dle použité základní suroviny

- přírodní (základní suroviny jsou živec, asfalt, kaučuk a jiné)
- syntetické

dle zpracovatelnosti

- netvrditelné (termoplasty ohříváním měknou, je možné je tvářet, tavit i odlévat - polypropylén, polyetylén, PVC, atd.)
- tvrditelné (termosety – jsou v hotové podobě, nedají se tvářet pomocí tepla ani tavit, ohřevem ztrácejí vlastnosti)

dle strukturního uspořádání jednotlivých molekul v makromolekule

- lineární
- zesíťované
- prostorové (sférické) makromolekuly

Ke svařování jsou vhodné **POUZE** netvrditelné **TERMOPLASTY** mající v makromolekule lineární uspořádání molekul [49], [54].

12.3 Metody svařování plastů

Při svařování plastových potrubí, konstrukcí a izolačních fólií mají bezprostřední vliv na kvalitu spoje technické možnosti svařovaného materiálu, montážní podmínky a namáhání spojů po svaření. Svářečské práce na plastových polotovarech lze v řadě případů vést a kontrolovat s použitím nezávislého záznamového zařízení nebo pomocí paměti vlastního stroje s následným tiskem protokolu o provedeném svaru [47], [50].

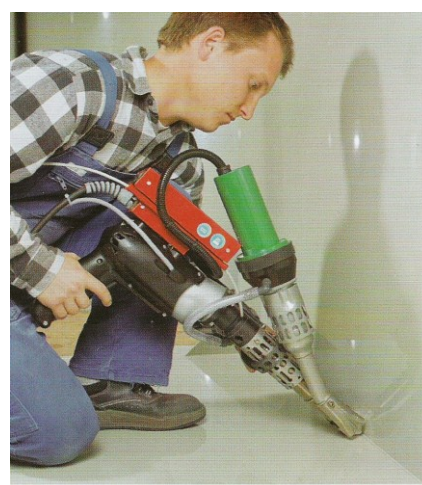
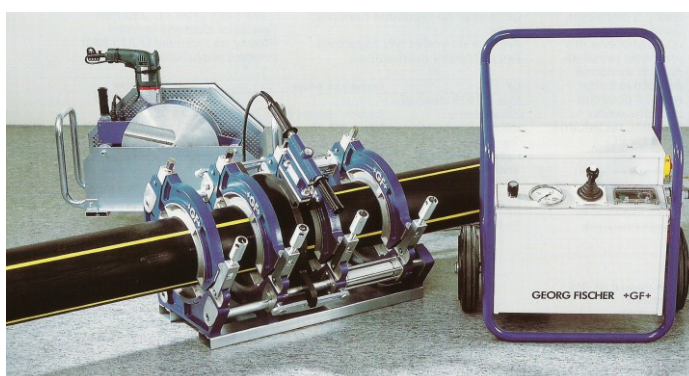
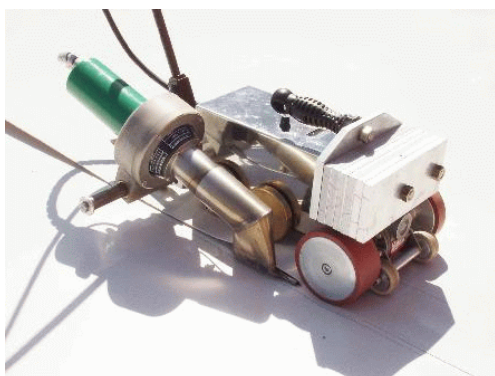
Tabulka 12-1: Základní metody svařování plastů a jejich aplikace na dílce

Metody svařování plastů			Přídavné materiály	Svařované polotovary
Svařování horkým tělesem (H)	přímé	Na tupo horkým tělesem (HS)	Bez přídavných materiálů	Trubky,desky,profily
		Profilové horkým tělesem (HN)		Desky, profily
		Ohraňováním horkým tělesem (HB)		Desky
		Polyfúzní svařování (HD)		Trubky
		Elektrotvarovkou (HM)		Trubky
		Horkým klínem (HH)		Fólie, profily
		S oddělením svaru (HT)		Fólie a tenké desky
		Bezvýronkové		Trubky
	nepřímé	Impulsní horkým tělesem (HI)		Fólie
		Tepelně kontaktní horkým tělesem(HK)		Fólie
		Kotoučové svařování (HR)	Fólie	
Svařování horkým plynem (W)	Ruční horkým plynem (WF)		drát, tyčinka	Trubky,desky,profily
	Horkým plynem s rychlotryskou (WZ)		drát, tyčinka	Trubky,desky,profily
	Přepřátovací horkým plynem (WU)		bez	Fólie
	Vytlačovací horkým plynem (WE)		drát, granulát	Trubky,desky,profily
Ostatní metody svařování plastů	Vytlačovací sáláním (LE)		drát, granulát	Trubky,desky,profily
	Infračerveným paprskem (IR)		Bez přídavných materiálů	Trubky
	Ultrazvukem (US)			Trubky
	Třecí svařování (FR)			Fólie, desky
	Vysokofrekvenční (HF)			Fólie
	laserem			Fólie

Jednotlivé technologie svařování se liší např. podle způsobu předání tepla, potřebného k ohřátí, resp. roztavení povrchů spojovaných součástí. Teplo může být předáno buď přímo (např. přímý kontakt s nosiči tepla, kontakt s horkým plynem), nebo přeměnou jiných druhů energie na teplo (např. přeměna mechanické nebo elektrické energie na teplo) [49], [51]. Vlastní způsob provedení svarového spoje se také liší a to hlavně z hlediska postupu provedených operací během jednotlivých technologií svařování, který může být následující:

- svařované povrchy jsou nejprve uvedeny ve vzájemný kontakt a teprve potom jsou zahřívány,
- svařované povrchy jsou nejprve zahřívány a potom jsou uvedeny ve vzájemný kontakt,
- svařované povrchy jsou současně ve vzájemném kontaktu a současně se i zahřívají.

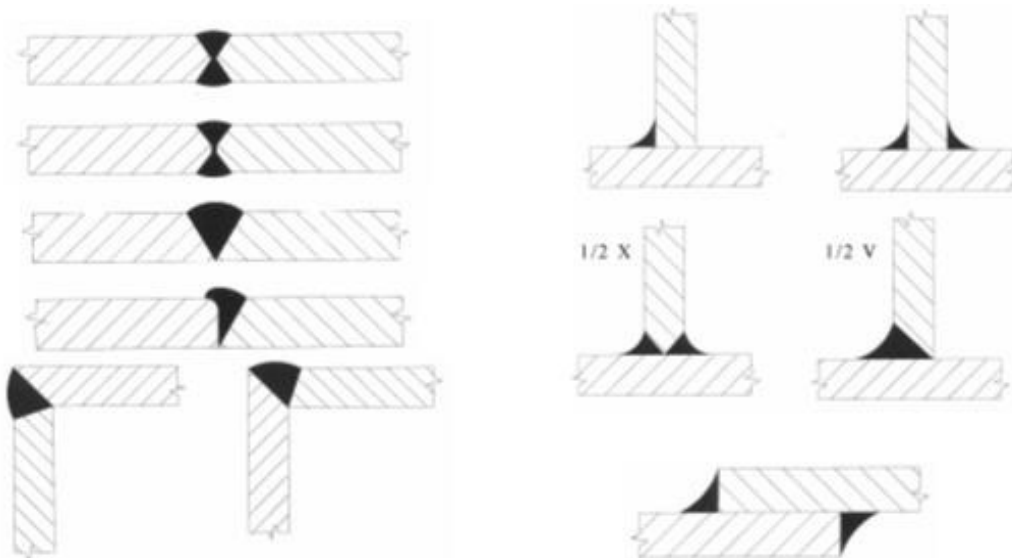
Základní metody svařování plastů jsou uvedeny v tab. 12-1.



Obrázek 12-1: Příklady metod svařování plastových dílců.

12.4 Svarové plochy

Základními druhy svarů, které se používají pro svařování plastů při návrhu svařovaných konstrukcí, jsou stykové (tupé) svary, koutové svary, rohové svary a přeplátované svarové spoje.

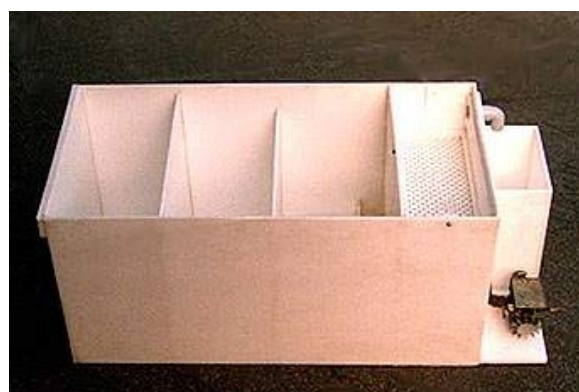
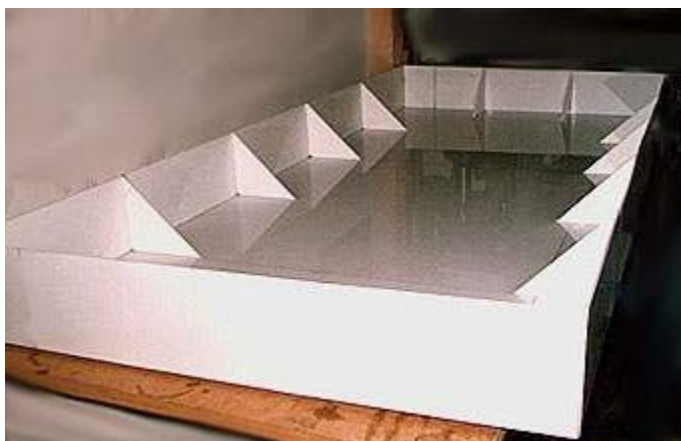


Obrázek 12-2: Základní rozdělení druhů svarových spojů
 vlevo nahoře – tupé, stykové svary
 vlevo dole – rohové svary
 vpravo nahoře koutové svary
 vpravo dole – přeplátovaný svar

12.5 Reálné aplikace svařovaných platových dílů

Plastové svařované díly jsou používány v mnoha odvětvích, např. [55]:

- odlučovače tuků
- expanzní nádrže
- jímky a nádrže na vodu, pro potravinářství i chemickou výrobu
- pracovní stoly
- pískovací boxy pro skláře
- vymývací boxy
- nádoby pro lázně v galvanovnách
- vytírací nádoby pro rybáře
- stoly a umyvadla pro laboratoře
- kontejnery pro výrobu sýrů
- kanalizační víka
- potrubní rozvody z PVC, PVCC, PP, PE na vodu a všechny druhy kyselin
- výrobky z PE pro potravinářský průmysl
- výrobky pro sklářské dílny
- pomůcky pro sítotiskové firmy, fotoprovozy a řadu dalších činností
- bazény
- solární články
- díly automobilů



Obrázek 12-3: Příklady svařovaných dílců.



Shrnutí kapitoly

Důkazem aktuálnosti tématu svařování plastových konstrukcí, resp. svařování plastů je stále větší využívání plastů ve všech oborech. Plast svými vlastnostmi často předčí konvenční materiály a jeho využití je tedy stále častější.



Kontrolní otázky

1. Definujte základní typy plastů a jejich vhodnost pro konstrukce z nich.
2. Uveďte příklady používaných svařovaných konstrukcí z plastů.
3. Uveďte typy svarových spojů konstrukcí z plastů.
4. Vyjmenujte a charakterizujte metody svařování plastů.

13 Konstrukce z různorodých materiálů spojované lepením a speciálními postupy svařování

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět: • definovat různorodé spoje lepením, zejména v automobilovém a leteckém průmyslu • Získáte informace o možnostech a vlastnostech lepených spojů.	Budete umět
Budete schopni: • řešit problematiku při zhotovování lepených spojů.	Budete schopni



Výklad

13.1 Základní problémy

Automobilový průmysl se stal během několika posledních let pilířem české ekonomiky. Problematika spojování různých materiálů s cílem poklesu hmotnosti výsledného produktu je z hlediska aplikací v oblasti automobilového a leteckého průmyslu silně prosazována. Požadavky, které klade průmysl na technologie spojování, jsou stále náročnější. Stále vyšší nároky v oboru termického spojování jsou kladeny především na oblast tenkých plechů.

Vedle požadavků, jako je nízké tepelné zatížení, dobrá přemístitelnost spáry a co možná nejmenší tepelná deformace a to zejména při spojování hliníku a ušlechtilých ocelí, by se měly i nároky na následné opracování snížit na minimum, případně zcela odpadnout. Stále výrazněji vystupují do popředí také kombinované konstrukce.

Aby bylo možno vyhovět požadavkům projektu, sestavují se často jednotlivé konstrukční celky různých materiálů. Nejzajímavější se v tomto směru jeví právě kombinace oceli s hliníkem. Termické spojování těchto materiálů předpokládá, podobně jako spojování tenkých plechů, nízkoteplotní spojovací proces [97].

13.2 Metodika a podmínky použití lepených spojů

Technologie lepení různorodých ocelových i jiných materiálů zaznamenala v poslední době značný pokrok. Vznik nejnovějších adhezních, molekulárních lepidel a lepidel založených na principu nanosloučenin, může být jednou z odpovědí jak přistupovat k problematice spojování těchto materiálů. Výhodou lepení je především fakt, že se do spoje nevnaší žádné teplo, které

by mohlo zapříčinit změnu intermetalických fází a tím i výsledné mechanické vlastnosti spojovaných materiálů.

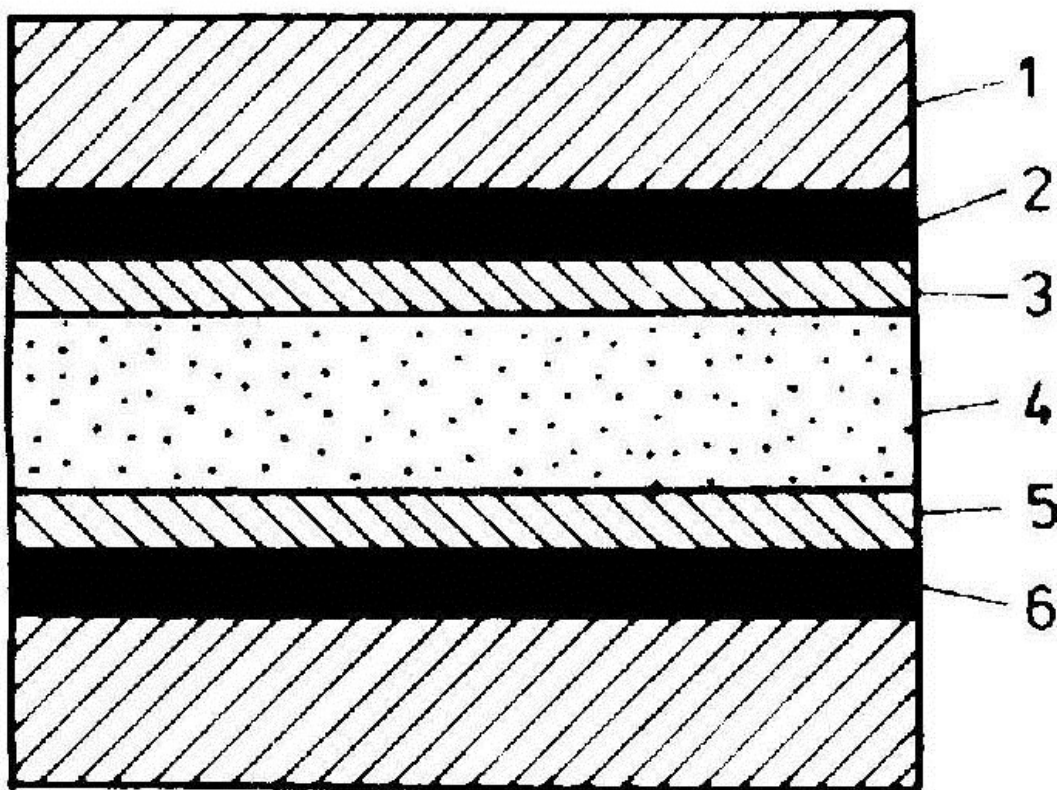
Důležité parametry technologie lepení jsou efektivnost a ekonomičnost. To se projevuje především v automobilovém a leteckém průmyslu.

Základní úlohou konstruktéra v oblasti technologie lepení, je volba vhodného typu lepidla pro spojení daného materiálu, nebo naopak pro určitý typ lepidla nalézt vhodný druh aplikace. Ve většině případů se jedná o úlohu obecnou, kdy je nutné nalézt vhodné lepidlo současně s vhodnou aplikací (zejména typ a úprava podkladu). Současně s tímto je nutné nalézt, resp. zohlednit všechny další aspekty této technologie (úprava povrchů, procesy aplikace, způsob nanášení, chování lepidla během procesu lepení, apod.) [100].

Celková pevnost lepeného spoje je závislá především na dvou nejdůležitějších činitelích: adhezi a kohezi.

Adheze (přilnavost): Vzájemné přitahování dvou povrchů adhezními silami. Adheze souvisí s molekulovou strukturou lepidla. Je výsledkem působení fyzikálních sil, mezimolekulárních a chemických vazeb.

Koheze (někdy též vnitřní adheze): je tzv. soudržnost. Charakterizuje stav látky (lepidla), ve kterém drží její částice působením mezimolekulárních a valenčních sil pohromadě. Velikost koheze udává tzv. kohezni energie, což je velikost energie potřebná k odtržení jedné částičky od ostatních [100].



Obrázek 13-1: Příklady aplikace lepených spojů [98].

Struktura lepeného spoje

Z hlediska vnitřní struktury lze každý konstrukčně pevný a dostatečně odolný lepený spoj dvou základních materiálů považovat za komplex tří hlavních vrstev a dvou mikrovrstev (Obr. 13-1).

Jednotlivé vrstvy:

- 1 – základní materiál (adherent),
- 2 – adhezni zóna,
- 3 – přechodová kohezni zóna,
- 4 – kohezni zóna,
- 5 – přechodová kohezni zóna,
- 6 – adhezni zóna.

13.3 Technologická příprava výroby – lepené spoje

Podmínkami pro vytvoření kvalitního lepeného spoje se všemi jeho kladnými vlastnostmi jsou především vhodná konstrukce spoje, vhodná kombinace lepený materiál - použité lepidlo a dodržení technologického postupu výroby lepeného spoje.

Vlastní postup výroby lepeného spoje má čtyři základní fáze, jimiž jsou:

- a) příprava spojovaného materiálu (adherendu) na lepení
- b) příprava lepidla
- c) nanášení lepidla
- d) montáž spoje

a) příprava spojovaného materiálu (adherendu) na lepení

Rozhodující je sočivost adherendu lepidlem. Cílem všech úprav slepovaných povrchů je maximálně zvýšit sočivost povrchu lepidlem. Mezi základní úpravy povrchů před lepením patří fyzikální (broušení, tryskání, kartáčování, apod.) a chemické (odmašťování v lázních, tampónem, moření, fosfatizace, apod.) metody.

b) příprava lepidla

Způsob přípravy lepidla závisí na čtyřech základních faktorech:

- druhu lepidla - chemická struktura, počet složek
- stavu lepidla po uskladnění - doba životnosti
- způsobu nanášení - velikost a tvar lepených součástí
- způsobu vytvrzování - teplota a tlak vytvrzování

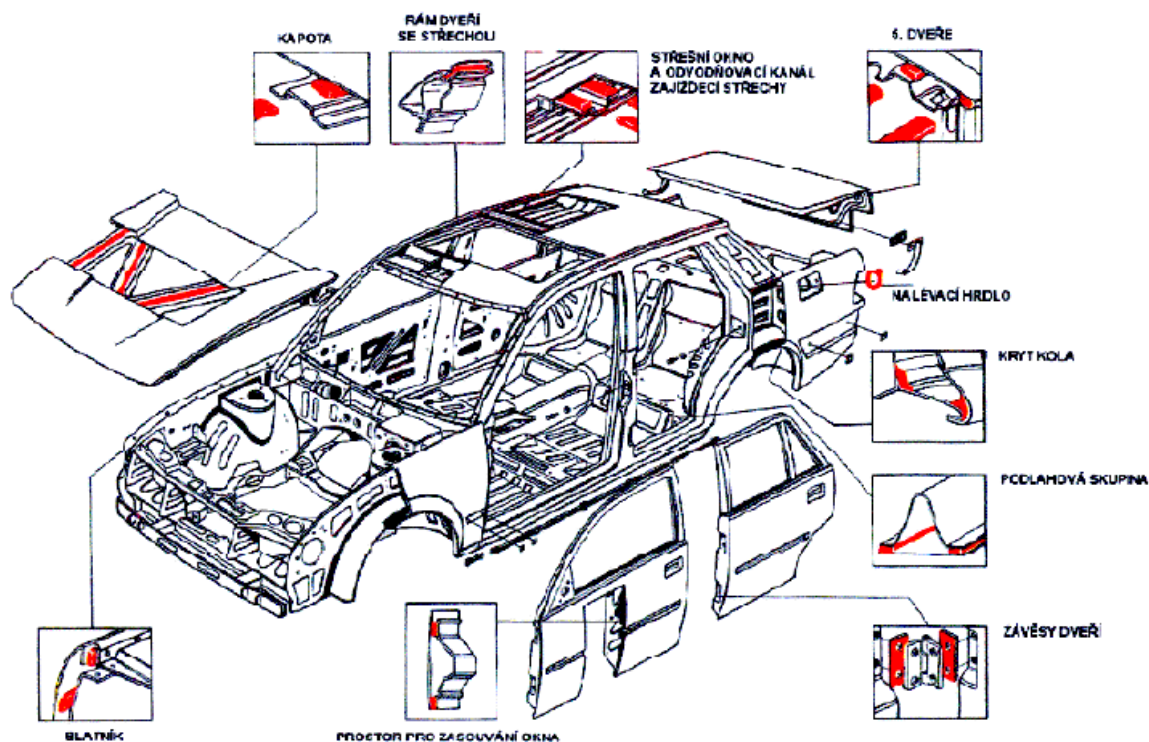
c) nanášení lepidla

Nanášení lepidla je určitá mezifáze, která odděluje přípravné operace od vlastního vytvoření lepeného spoje. Cílem nanášení lepidla je souvislé vytvoření rovnoměrné vrstvy lepidla určité tloušťky. Ve většině případů se lepidlo nanáší na obě lepené půlky.

d) montáž spoje, vytvoření pevného spoje

Lepené díly se pomocí vhodných přípravků zafixují pod předepsaným tlakem k sobě a vytvoří se fyzikální a chemické podmínky pro vznik pevných vazeb, dokud nedojde k vytvoření adhezního spojení (odpaření, vytvrzení, polymerace, apod.).

V automobilním průmyslu se lepené spoje vyskytují ve velké míře (obr. 13-2).

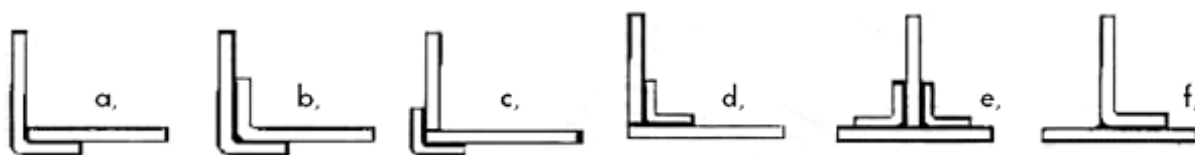


Obrázek 13-2: Příklady aplikace lepených spojů [100].

Návrh lepené konstrukce

Konstrukci je dobré rozdělit na co nejméně složité části vhodné k lepení. Musí se přesně dodržovat předepsaný technologický postup lepení a je třeba se vyhnout dvojitému lepení, které je při montáži vystavené odlupujícím silám. Dílce s velkým a složitým zakřivením nejsou vhodné k lepení, proto je dobré se takým plochám vyhnout nebo je konstrukčně upravit.

Lepší výsledky z hlediska pevnosti se dosahují u tenčích plechů a spoje je třeba situovat tak, aby byly namáhány ve smyku a ne na odlupování. Lepidlo si konstruktér vybírá dle požadavků na pevnost spoje, podle technologie zpracování a samozřejmě podle ceny.



Obrázek 13-3: Příklady aplikace lepených spojů [99].

Lepidla k lepení kovů

Při výběru lepidla pro lepení kovů je nutné vycházet z toho, že jde o materiály zcela nepropustné. Z tohoto důvodu přicházejí v úvahu jen taková lepidla, tmely a metody lepení, které zaručují, že se v průběhu lepení neuvolní těkavé látky, které by snižovaly kohezi a adhezi filmu lepidla. Z tohoto důvodu nelze použít roztoková a disperzní lepidla. Výjimkou jsou kontaktní lepidla na bázi chloroprenového a polyuretanového kaučuku.

Lepidla plněná práškovými plnivými (kovová, minerální plniva) se vyrábějí v různých viskozitách. Tekuté typy se používají pro lepicí svařování za studena (např. oprava trhlin, vměstků, prosaků aj.) a tzv. epoxidová plastelína, která slouží pro opravy nádrží, chladičů, větších proražených otvorů aj.

Pro lepení a opravy malých ploch se používají epoxidová lepidla rychlá, která dosahují manipulační pevnosti po 2 až 10 minutách, pro konstrukční spoje a renovační technologie se používají epoxidová lepidla s dobou zpracovatelnosti 30 minut až 3 hodiny a manipulační pevnosti je dosaženo po 5 až 6 hodinách, funkční pevnosti je obvykle dosaženo po 24 hodinách. Teplotní odolnost epoxidových lepidel neplněných je od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, plněných od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ [96].

Pevnost lepidel pro domácí použití bývá kolem 13–15 MPa. Lepidla s pevností nad 20 MPa jsou označována jako vysokopevnostní. S těmito hodnotami lze počítat u oceli a chemicky upravených hliníkových slitin [99].

Lepení plastů

Lepení plastů patří mezi nejnáročnější především z hlediska určení druhu materiálu, který chceme lepit. Základní druhy plastů lze rozeznat orientační zkouškou. Vzorek se nahřeje a zapálí a pozoruje se nad nesvítivým plamenem plynového hořáku. Jako vzorek postačí pilina nebo malý kousek plastu, který se pomocí pinzety vnese nad plamen [97].

Při zkoušce chování plastu se pozoruje:

- zda vzorek mění po nahřátí nad plamenem tuhost,
- jak se chová v plameni a po oddálení z plamene,
- zbarvení plamene a zápach dýmu po uhasnutí,
- chování taveniny, zbarvení příškvarku apod.



Shrnutí kapitoly

Výsledkem studia této kapitoly je základní seznámení s problematikou lepených spojů, používanou zejména v automobilním a leteckém průmyslu.

**Kontrolní otázky**

1. Charakterizujte lepený spoj.
2. Co je to adheze a koheze?
3. Popište postup přípravy a zhotovení lepeného spoje.
4. Uveďte příklady aplikací lepených spojů.
5. Uveďte typy lepidel a omezující podmínky jejich použití na konkrétních konstrukcích.



Prameny

Literatura ke kapitolám 6 až 13

- [18] HLAVATÝ, I. *Teorie a technologie svařování - první multimediální publikace o svařování*. [on line]. VŠB – TU Ostrava, 2009, poslední revize 20. 10. 2011. ISBN 978-80-248-2414-7. URL: < <http://fs1.vsb.cz/~hla80>>
- [19] *Help nejen pro studáky UTB oboru Technologická zařízení: SZZ Mechanika a části strojů - 14. Dimenzování svarových spojů* [online]. Zlín
URL: < <http://www.caddy.estranky.cz/stranka/statmechstroje>>
- [20] KALÁB, Květoslav. *Konstrukční návrh a výpočet svařované ocelové konstrukce: vysokoškolská příručka* [on line]. Ostrava: 2003.
URL: < <http://www.347.vsb.cz/CZ/kestazeni/soubory.asp?id=cams1>>
- [21] MITCalc [počítačový program].ver.1.50c. [on line]. Děčín : c2003-2009. Výpočetní software. Pro Win 98 a vyšší.
URL: < <http://www.mitcalc.com/doc/welding/help/cz/welding.htm>>
- [22] OCHODEK, Vladislav. *Literatura: pevnostní kontrola průřezů namáhaných tahem a tlakem* [on line]. Ostrava: 2008. URL: < <http://www.345.vsb.cz/>>
- [23] PILGR, Milan. *Svarové spoje* [on line]. Brno.
URL: < www.fce.vutbr.cz/kdk/pilgr.m/BO02/BO02_cvi_05.pdf>
- [24] VEJVODA, S. *Navrhování svařovacích konstrukcí. Učební text pro inženýry, technology a techniky svařování*. 2. Vydání Brno: VUT Brno, 1995
- [25] DEJL, Z. *Konstrukce strojů a zařízení I. Spojovací části strojů. Návrh, výpočet, konstrukce*. Ostrava, 2000, MONTANEX a.s. ISBN 80-7225-018-3
- [26] <http://www.caok.cz/realizace/rembrandtin-sro>
- [27] <http://www.vagonarske-muzeum.cz/index.php?t=3&clanek=vagonkavyroba>
- [28] <http://www.mmspektrum.com/clanek/soucasne-konstrukcni-moznosti-pri-navrzich-ramu-velkych-hydraulickych-lisu.html>
- [29] <http://www.ndtservis.cz/en/diagnostika.html>
- [30] http://people.fsv.cvut.cz/~wald/134YHnk_Hlinik/Navrh_svaru_stavebnich_hlinik_ovych_konstrukci_Wald.pdf
- [31] <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/prednaskyOK3/OK3-13z.pdf>
- [32] http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Svar_hlinik1_2007.pdf
- [33] <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2008122801>
- [34] <http://www.mmspektrum.com/clanek/numericke-simulace-svarovani-a-tepelneho-zpracovani.html>
- [35] <http://www.ceske-normy.cz/csnen-1011-4-01082002>
- [36] <http://www.ocel.wz.cz/sortiment/svary.php>
- [37] <http://csnonline.unmz.cz/Detailnormy.aspx?k=74948>

- [38] <http://www.mmspektrum.com/clanek/svaritelnost-hlinikovych-slitin.html>
- [39] <http://www.schapersport.cz/schaper/eshop/1-1-Fotbal/0/5/36-Prenosna-branka-dle-standardu-nemecke-armady>
- [40] Kolář, V. : *Hliník a jeho slitiny, podklady pro kurz IWE/IWT*, ČVUT v Praze, FS, 2007
- [41] <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2008011702>
- [42] <http://www.rwasystemy.cz/prosvetleni-prumyslovych-objektu.php?lg=cs>
- [43] LOYDA, M., ŠPONER, V., ONDRÁČEK, L. a kol. *Svařování termoplastů*. 1. vyd. Praha: UNO Praha, spol. s r.o., 2001. 498 s. ISBN 80-238-6603-6.
- [44] VÁVRA, P. *Strojírenská příručka*. 1. vyd. Svazek 8. Praha: SCIENTIA, spol s r. o., 1998-. ISBN 80-7183-054-2.
- [45] BLAŠČÍK, F. a kol. *Technológia tvárnenia zlievárenstva a zvarovania*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1988. 832 s.
- [46] MÍŠEK, B. Vady svarových spojů. Ročník VI., číslo SDSM 5-6/2008. TM-svařování, dělení, spojování materiálů, 2008. TM-vydavatelství s.r.o. Praha. ISSN 1214-1408C.
- [47] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. Moderní technologie a řízení jakosti svařování plastů. [online].[citováno 2007 – 12 – 04]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-technologie-a-rizeni-jakosti-svarovani-plastu>>.
- [48] TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC. Doplnkové technologie pro zpracování plastů. [online].[citováno 2007 – 12 – 04]. Dostupné z: < http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12.htm >.
- [49] STAPLA Ultraschalltechnik GmbH. Svařování plastů. [online].[citováno 2007 – 12 – 04]. Dostupné z: < <http://www.ultrazvukove-svarovani.cz/html/cs/technologie-ultrazvukoveho-svarovani-plastu.phtml>>.
- [50] DYTRON. Zařízení pro svařování plastů. [online].[citováno 2007 – 12 – 04]. Dostupné z: < <http://www.rhouser.org/archiv/1086.pdf> >.
- [51] AK Plast s.r.o.. Speciální a jednoúčelová svařovací zařízení. [online]. [citováno 2007 – 12 – 04]. Dostupné z: < <http://www.uprava-vody.cz/files/63.pdf> >.
- [52] UNO Praha. Normy pro svařování plastů. [online].[citováno 2007 – 12 – 04]. Dostupné z: < <http://www.uno.cz/go.php?p=303> >.
- [53] TECHNOR. Technické normy. [online]. [citováno 2007 – 12 – 04]. Dostupné z: < <http://www.technicke-normy-csn.cz/technicke-normy/svarovani,-pajeni,-rezani-kovu-a-plastu-5/svarovani-plastu-568> >.
- [54] Sentrybox s.r.o. Nové značení zkoušky svářečů plastů. [online]. [citováno 2007 – 12 – 04]. Dostupné z: < <http://www.sentrybox.cz/uno/prilohy/file43326aa423121.pdf> >.
- [55] MAHLER, Petr. Technologické a výrobní zařízení z plastů. [online]. [citováno 2007 – 12 – 04]. Dostupné z: < <http://plasty-mahler.com/tech.html> >.
- [56] <<http://www.unmz.cz/urad/jednoduche-tlakove-nadoby>>
- [57] <<http://www.tlakinfo.cz>>

- [58] Kompresor. Dostupné z: http://www.orlik.cz/pdfs/pistove_kompresory.pdf
- [59] Výměník. Dostupné z: www.vanektu.cz/image_preview.php?image_path=/editor/image/fotogalerie3_obsah/obrazek_5.jpg
- [60] Tlakové nádoby. Dostupné z: www.pomar.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=43&Itemid=1
- [61] Normy. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?i=53&t=2>
- [62] Normy. Dostupné z: <http://shop.normy.biz/>
- [63] Nařízení vlády č. 26/2003 sb. – tlakové nádoby. Dostupné z URL: <http://www.schiessl.cz/soubor-technicke-pozadavky-na-tlakova-zarizeni-621-2004-sb-26-2003-sb-227-.pdf>
- [64] PED-ES 97/23 EC. Dostupné z URL: <http://www.tuv-nord.cz/37917.asp>
- [65] Svařování : Střední Průmyslová Škola Strojnická a Vyšší Odborná Škola Technická, Sokolská 1, Brno Ing. Bohuslav Dryml
- [66] Svarinfo.cz [online]. 2011 [cit. 2011-20-11]. Dostupný < <http://svarbazar.cz/> >
- [67] MITCalc ver.1.50c. [on line]. Děčín : c 2003-2009. Výpočetní software. URL: < http://www.mitcalc.com/cz/ui/ui_welding.htm >
- [68] LEINVEBERT, J. – VÁVRA, P. Strojnické tabulky. Úvaly: ALBRA – pedagogické nakladatelství, 2003. 868 s. ISBN80-86490-74-2.
- [69] POSPÍCHAL, J. Technické kreslení. 2. vyd. Praha: ČVUT Praha, 2003. 84 s. ISBN: 80-01-02196-3.
- [70] SVOBODA, P. – BRANDEJS, J. – DVOŘÁČEK, J. – PROKEŠ, F. Základy konstruování 2.
- [71] CERM. Brno. 2008. 234 s. ISBN: 978-80-7204-584-6.
- [72] SVOBODA, P. BRANDEJS, J. PROKEŠ, F. Základy konstruování: výběr z norem pro konstrukční cvičení. Brno: CERM, 2008. 288 s. ISBN 978-80-7204-534-1.
- [73] <http://www.quido.cz/objevy/svarovani.htm>
- [74] <http://kuba.petriny.net/index.html>
- [75] Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory. J. Barták, R. Kovařík, V. Pilous. ISBN 80-85771-97-7
- [76] POŠVÁŘOVÁ, M.: Technické podmínky TP 193 Svařování betonářské výztuže a jiné typy spojů. Mott MacDonald Praha, 2008, 132 s. ISBN 978-80-904172-0-5.
- [77] ČSN EN ISO 17660-1, Svařování betonářské oceli – Část 1: Nosné svarové spoje, 2007.
- [78] ČSN EN ISO 17660-2, Svařování betonářské oceli – Část 2: Nenositelné svarové spoje, 2007.
- [79] www.cws-anb.cz [online]. 2010 [cit. 2010-11-11]. Svařování betonářských ocelí. Dostupné z WWW: <<http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=325>>.
- [80] www.konstrukce.cz [online]. 2009 [cit. 2010-11-11]. Změny mechanických vlastností betonářské oceli svařováním. Dostupné z WWW:

- <<http://www.konstrukce.cz/clanek/zmeny-mechanickych-vlastnosti-betonarske-oceli-svarovanim/>>.
- [81] www.ipsystem.cz [online]. 2009 [cit. 2010-11-11]. Využití betonářské oceli v praxi. Dostupné z WWW: < <http://www.ipsystem.cz/> >.
 - [82] www.konstrukce.cz [online]. 2009 [cit. 2010-11-11]. Svařování betonářské oceli. Dostupné z WWW: < www.konstrukce.cz/clanek/svarovani-betonarske-oceli/ >.
 - [83] www.silnice-zeleznice.cz [online]. 2009 [cit. 2010-11-11]. Zkušenosti s kvalifikací postupů svařování betonářských ocelí. Dostupné z WWW: < www.silnice-zeleznice.cz/clanek/zkusenosti-s-kvalifikaci-postupu-svarovani-betonarskych-oceli/ >.
 - [84] www.imaterialy.cz [online]. 2009 [cit. 2010-11-11]. Zkoušení betonářských ocelových výztuží. Dostupné z WWW: < <http://www.imaterialy.cz/Beton/Zkouseni-betonarskych-ocelovych-vyztuzi.html> >.
 - [85] Dostupné [online]. World wide web: < <http://mmspektrum.com> , Kód článku: 011014 Nomenklatury: Technologie spojování/ dělení materiálů, Vyšlo v MM 2001 / 10, v rubrice Trendy / Spojování a dělení, strana 34
 - [86] BARTÁK, J., KOVAŘÍK, R., PILOUS, V. a kolektiv. *Učební texty pro evropské svářečské specialisty*. ZEROSS, Ostrava, 2002, 418s., ISBN 80-85771-97-7
 - [87] FOLDYNA, V., KOUKAL, J., HLAVATÝ, I. a kolektiv. *Materiály a jejich svařitelnost*. Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. ZEROSS, Ostrava, 2001, 292s., ISBN 80-85771-85-3
 - [88] MAJER, L., PODHORA, J., SUCHÁNEK, M., VEJVODA, S. *Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení*. ZEROSS, Ostrava, 1999, 249s., ISBN 80-85771-70-5
 - [89] http://fs1.vsb.cz/~hla80/Vyuka/Rozdeleni_oceli_15608_2008.pdf [online]. [citace ze dne 29.11.08]
 - [90] http://www.ferona.cz/cze/katalog/mat_normy.php [online]. [citace ze dne 29.11.08]
 - [91] www.vscht.cz/met/aki/konferen/2003/sbornik/cerny.pdf [citace ze dne 28.11.08]
 - [92] <http://www.suplex.cz/ocelove-konstrukce/> [online]. [citace ze dne 28.11.08]
 - [93] www.tdsbrnosms.cz/dokumenty/technicke-informace/kontroly-a-zkouseni-pri-provadeni-konstrukci-a-technickych-zarizeni.doc [online]. [citace ze dne 28.11.08]
 - [94] FREMUNT, P., PODRÁBSKÝ, T. *Konstrukční oceli*. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 1996, 267s., ISBN 80-85867-95-8
 - [95] <http://www.haas-fertigbau.cz/produkty/lepeny-program/lepene-konstrukce/>
 - [96] <http://www.oblibene.cz/lepidla/?cap=4852>
 - [97] http://www.ingenia.cz/lepene_konstrukce.php?act=1
 - [98] <http://www.5m.cz/cz/automobilovy-prumysl/>
 - [99] <http://www.uhu.cz/lepeni-kovu>
 - [100] Technologie lepení v automobilovém průmyslu, Studijní materiál, Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie, 2008 [online]. [cit. 2011-10-28]
URL:<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/lepeni.pdf>



Kontrolní otázky

Otázky testů ke kapitolám 6 až 13:

48. Definujte typy ocelových konstrukcí a pro jaký způsob namáhání jsou určeny.
49. Ve kterých případech budou navrhované konstrukce považovány za konstrukce namáhané staticky nebo dynamicky?
50. Jaké typy svarových spojů je vhodné použít pro staticky namáhané konstrukce a dynamicky namáhané konstrukce?
51. Jakým způsobem jsou u ocelových konstrukcí provedeny svarové spoje uzlových bodů (např. spojení několika nosníků v jednom místě u ocelových mostních konstrukcí)?
52. Jakým způsobem lze namáhat skořepinová konstrukce?
53. Definujte nejdůležitější zásady při návrhu svařované ocelové konstrukce.
54. Vyjmenujte základní typy svarových spojů ocelových konstrukcí.
55. Které ze svarových spojů jsou vhodné pro statické namáhání, a které pro dynamické namáhání?
56. Uveďte příklad značení svarových spojů.
57. Které doplňkové značky se používají při značení svarových spojů a jaký mají význam?
58. Jaký je rozdíl mezi staticky namáhaným svarovým spojem a dynamicky namáhaným spojem?
59. Co definuje počet zátěžových cyklů „N“ u konstrukce?
60. Vyjmenujte hlavní typy namáhání svarových spojů.
61. Co je převodní součinitel svaru „ α “?
62. Ve které oblasti tupého svarového spoje dochází k největšímu nárůstu napětí (napětíové špičky)?
63. Ve které oblasti koutového svarového spoje dochází k největšímu nárůstu napětí (napětíové špičky)?
64. Jakým způsobem lze minimalizovat vliv napětíových špiček na svarovém spoji?
65. Vyjmenujte typy svarových spojů používaných při svařování betonářských výztuží.

66. Jakým způsobem se tepelně zpracovávají tyče betonářské výztuže při jejich výrobě?
67. Jak ovlivní vnesené teplo při svařování okolí svarového spoje betonářské výztuže?
68. Jaké vady svarových spojů se vyskytují při svařování betonářských výztuží?
69. Je nutné dodržovat speciální předpisy při svařování betonářských výztuží (příp. jakých) nebo ne?
70. Vyjmenujte typy tlakových nádob.
71. Je nutné se řídit zvláštními předpisy při návrhu, svařování a provozování tlakových nádob?
72. Jaké metody svařování jsou vhodné pro svařování tlakových nádob?
73. Definujte možné problémy při svařování plášťů a nátrubků tlakových nádob.
74. Definujte základní vlastnosti hliníkových slitin vhodných pro konstrukce z nich.
75. Které z procesů (např. žíhání, popouštění, tváření) má zásadní vliv na mechanické vlastnosti hliníkových slitin a jakým způsobem ovlivní proces svařování jejich vlastnosti.
76. Které metody svařování jsou vhodné pro provádění svarových spojů hliníkových konstrukcí a proč?
77. Definujte vhodné typy a umístění svarových spojů hliníkových konstrukcí oproti svarovým spojům ocelových konstrukcí.
78. Jaké vady svarových spojů se vyskytují při svařování hliníkových konstrukcí?
79. Definujte základní typy plastů a jejich vhodnost pro konstrukce z nich.
80. Uveďte příklady používaných svařovaných konstrukcí z plastů.
81. Uveďte typy svarových spojů konstrukcí z plastů.
82. Vyjmenujte a charakterizujte metody svařování plastů.
83. Charakterizujte lepený spoj.
84. Co je to adheze a koheze?
85. Popište postup přípravy a zhotovení lepeného spoje.
86. Uveďte příklady aplikací lepených spojů.
87. Uveďte typy lepidel a omezující podmínky jejich použití na konkrétních konstrukcích.