

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Основи конструисања

Број индекса: 29/2009

Марко М. Делић

Формирање конструкција

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Ненад Марјановић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да размотри проблематику формирања конструкције и да представи значај ове етапе конструисања. Потребно је да детаљно обради основна правила, начине димензионисања и обликовања које конструктор треба да користи при налажењу конструкционих решења.

Препоручена литература:

- [1] G. Pahl and W. Beitz , Engineering Design, Springer, London, 1997.
- [2] Марјановић Ненад, Методе конструисања, Машински факултет Крагујевац, Крагујевац, 1999.

Крагујевац, септембар 2012. год.

ментор:

Резиме: У оквиру рада је извршено прикупљање, систематизација и анализа података и знања везаних за формирање конструкције. Описан је поступак формирања конструкције и детаљно су објашњени принципи на којима се заснива овај део процеса конструисања. Формирање конструкције је представљено као једна од три основне фазе конструисања. Као основни принципи који представљају суштину поступка и које је неопходно применити наведена су и детаљно објашњена основна правила формирања конструкције: једнозначност, једноставност и сигурност. Посебна пажња је посвећена деловима где су објашњени прорачуни и препоруке за димензионисање и обликовање конструкције. У задњем поглављу су објашњени спољашњи и унутрашњи утицаји на конструкције о којима конструктор треба да води рачуна.

Кључне речи: формирање конструкције, димензионисање, обликовање, утицаји.

Abstract: In this paper, the collection, systematization and analysis of the data and knowledge related to the embodiment design has been performed. The procedure of the embodiment design has been described, and the principles which this part of the design process is based on are explained in detail. The embodiment design is presented as one of the three elementary construction phases. The basic rules of embodiment design, as the basic principles which represent the core of the process and which need to be applied, are listed and explained in detail: clarity, simplicity and security. Special attention is given to the parts where calculations and recommendations for the dimensioning and shaping of the structure are explained. The last chapter explains the external and internal influences on the construction of which the designer has to take care.

Keywords: embodiment design, dimensioning, shaping, impacts.

Садржај

Резиме	3
Садржај	4
1. Увод.....	6
2.Основне претпоставке при формирању конструкције	6
2.1 Листа захтева.....	6
2.2 Кораци при формирању конструкције	8
3. Основна правила формирања конструкције.....	11
3.1 Једнозначност.....	11
3.2 Једноставност	12
3.3 Сигурност	14
4. Димензионисање делова машинских конструкција	17
4.1 Димензионисање на основу функције	18
4.2 Димензионисање на основу потребне чврстоће	21
4.3 Димензионисање на основу потребне крутости	23
4.4 Димензионисање с обзиром на законска и економска ограничења	24
5. Обликовање делова машинских конструкција	26
5.1 Обликовање с обзиром на технологију израде	26
5.1.1 Заварене конструкције.....	27
5.1.2 Обликовање одливака.....	32
5.1.3 Обликовање делова добијених пластичним деформисањем	34
5.1.4 Правила обликовања делова обрађених резањем	36
5.2 Обликовање с обзиром на монтажу	39
5.3 Обликовање с обзиром на естетику	41
5.4 Обликовање с обзиром на рециклажу.....	45
5.5 Обликовање с обзиром на ергономију	47
5.6 Обликовање с обзиром на одржавање	49
6. Остали утицаји на формирање конструкције.....	51
6.1 Утицај температуре	51
6.2 Утицај корозије	56
6.2.1 Конструкционе мере за сузбијање корозије	57
6.2.2 Заштита одабиром корозијски постојаних материјала.....	60
6.3 Утицај трења и хабања	61

6.3.1 Триболошки исправно конструисање	63
6.4 Утицај вибрација и буке	65
Закључак	68
Литература	70

1. Увод

Процес конструисања је креативна активност која почиње идејом да се ствара нови производ[3]. Резултат конструкционог процеса је разрађени пројекат у чијем су саставу приказ структуре конструисаног објекта(цртежи делова и склопова), анализе, свеобухватни прорачуни и упутства за израду и експлоатацију. Процес конструисања се дели на неколико фаза од којих је прва конципирање идејног решења, друга формирање конструкције и на крају трећа фаза је конструкциона разрада.

Формирање конструкције је део процеса конструисања у којем се, полазећи од усвојене концепције, добијају нове информације које омогућавају да се, уз још неке активности детаљног конструисања започне са производњом. Процес формирања конструкције, за разлику од конципирања, укључује велики број корективних етапа у којима се анализа и синтеза стално смењују и допуњују[1].

При формирању конструкције неопходно је дефинисати:

- начин израде(величина серије, расположиви капацитети, ангажовање других произвођача, цена, ...),
- материјал-врсту, хемијски састав, особине, начин обраде...,
- димензије делова конструкције које се одређују на различите начине у зависности од постављеног задатка и расположивих средстава за његово решавање,
- облик делова конструкције с обзиром на технологију израде, карактеристике усвојених материјала, напонска и друга стања, монтажу, итд...,
- квалитет и тачност делова конструкције, толеранције, храпавост површина и друге карактеристике, које се дефинишу на основу прорачуна, испитивања, процена, итд.

2.Основне претпоставке при формирању конструкције

2.1 Листа захтева

У фази формирања конструкције може бити врло корисна листа захтева за формирање конструкције која се развија на основу општих циљева и ограничења дефинисаних техничким задатком. Она даје велики подстицај за решавање конкретних проблема, а такође осигурава да се ништа битно не изостави у фази формирања конструкције. Захтеви дефинисани у овој листи су међусобно повезани, па се њихово испуњавање врши кроз понављање појединих корака и тражење решења која ће испунити све захтеве у што већој мери.

У листи су захтеви подељени у групе. То су захтеви: функција, радни принципи, облик и распоред елемената конструкције, сигурност, ергономија, производња, контрола квалитета, монтажа, транспорт, руковање, одржавање, трошкови и рокови[1].

Редни број	Група	Захтеви
1	Функција	-Да ли је дефинисана функција задовољена? -Које су помоћне функције неопходне?
2	Радни принципи	-Да ли изабрани радни принципи дају жељене ефекте и предности?
3	Облик и распоред елемената конструкције	-Да ли изабрани распоред, облик, димензије и материјал делова конструкције обезбеђује: ·тражену чврстоћу ·одговарајућу крутост ·одговарајућу стабилност ·непостојање резонанце ·неспречено ширење(услед ширења температуре) ·прихватљиву отпорност на корозију и трење (хабање) за дефинисани век и оптерећења?
4	Сигурност	-Да ли су сви фактори који утичу на сигурност делова, функције, руковања и околине узети у обзир?
5	Ергономија	-Да ли је однос руковаоц-машина узет у обзир? -Да ли су узети у обзир преоптерећење и штетни утицаји на руковаоца? -Да ли је посвећена пажња добром распореду елемената за руковање и контролу рада?
6	Производња	-Да ли је извршена технолошка и економска анализа процеса производње?
7	Контрола квалитета	-Да ли се неопходне провере могу извршити за време производње, после производње или у било ком тренутку и да ли су оне дефинисане?
8	Монтажа	-Да ли се сви послови монтаже могу обавити једноставно и по правилном распореду?
9	Транспорт	-Да ли су услови спољашњег и унутрашњег транспорта и могући ризици разматрани и узети у обзир?
10	Руковање	-Да ли су сви фактори који утичу на руковање као што су бука, вибрације, управљање, итд. узети у обзир?
11	Одржавање	-Да ли се одржавање, интервенције и прегледи могу лако извести и контролисати?
12	Трошкови	-Да ли су прихваћена ограничења трошкова испоштована? -Да ли се јављају додатни трошкови у експлоатацији?
13	Рокови	-Да ли се рок испоруке може постићи? -Да ли постоје модификације конструкције које могу побољшати ситуацију са испоруком?

2.2 Кораци при формирању конструкције

Формирање конструкција је сложен процес због тога што[2]:

- много поступци морају бити изведени истовремено,
- неколико корака мора бити поновљено користећи велики број података,
- додаци и измене на једном делу остављају последице на дизајн конструкције у другом делу.

Због овога, није увек могуће направити прецизан план за фазе формирања конструкције. Ипак, могуће је предложити начелни приступ формирању конструкције и предвидети основне кораке(слика 1). Одређени проблеми могу захтевати одступања и допунске кораке који се тешко могу предвидети. Приступ мора да буде такав да одговара решавању проблема, уз схватање да ће одређене измене бити направљене. У суштини, процес формирања конструкције ће се развијати од квалитативног до квантитативног, од апстрактног до конкретног, од уопштеног до детаљног. Важно је да се остави места за провере и ако је потребно измене.

1. Полазећи од начелног решења и користећи листу захтева први корак је проналажење оних захтева који имају пресудан утицај на формирање конструкције: захтеви везани за величину, материјал итд...

Захтеви који се тичу безбедности, ергономије, производње, монтаже захтевају посебно разматрање јер могу утицати на величину, избор материјала...

2. Даље, просторна ограничења која ограничавају формирање конструкције морају бити пронађена (растојања, положаји...)

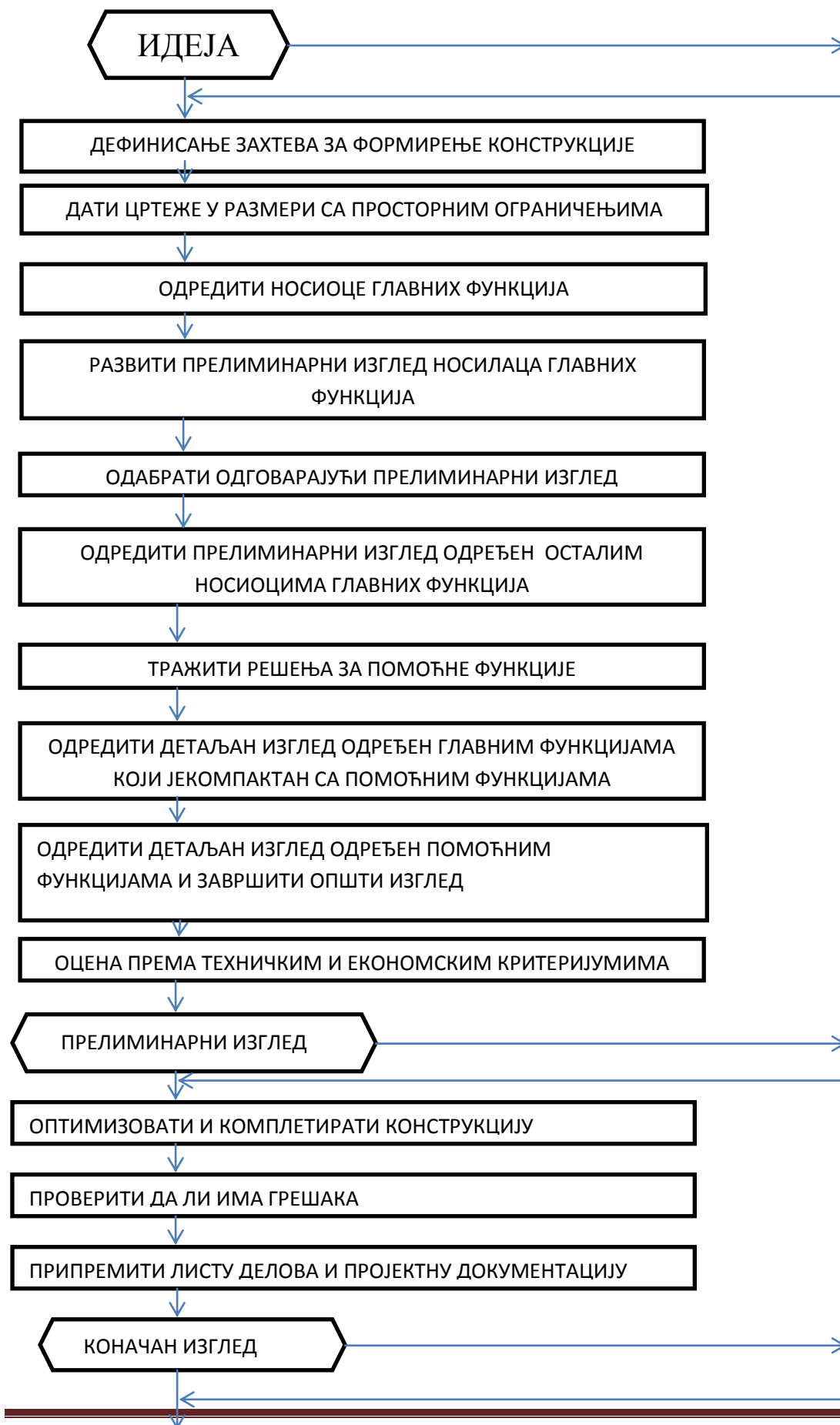
3. Након што су захтеви за формирање конструкције и просторна ограничења одређени добија се груб изглед конструкције са свим склоповима и компонентама које испуњавају услове главне функције.

Следећа помоћна питања се морају решити, уз поштовање принципа који се тичу формирања конструкција:

-Које главне и помоћне функције одређују величину, распоред компонената и укупан изглед конструкције?

-Које главне функције морају бити испуњене и са којим подфункцијама заједно или одвојено?

Слика 1. Приступ и основни кораци [2]



4. Прелиминарни распоред и форма за носиоце главних функција морају бити одређени. Препорука је да се треба придржавати листе захтева. Резултат је одређивање свих просторних ограничења и задовољавање свих услова за носиоце главних функција(минимални пречници вратила, минимални радијуси зупчаника итд.).
5. Треба изабрати један или више погодних распореда узимајући у обзир листу захтева.
6. Прелиминарни распоред и облик сада мора да се развија за остале носиоце главних функција који још увек нису одређени али ће бити формиран у следећим фазама.
7. Утврдити које су основне помоћне функције(као што су заптивање, хлађење итд.) потребне и где је могуће користити позната решења(стандардни делови, решења из каталога...).
8. Детаљан изглед и облик за носиоце главних функција треба одредити у складу са правилима и препорукама обраћајући посебну пажњу на стандарде, прописе, резултате експеримената и компатибилност са осталим помоћним функцијама. Ако је неопходно може се направити подела на склопове или области који се могу засебно изучавати.
9. Наставити са развојем носилаца помоћних функција, водећи рачуна о стандардима и применом већ постојећих(купљених делова). Ако је неопходно прецизирати изглед носилаца главних функција и направити укупан изглед који је комбинација свих носилаца.
10. Оценити изглед према техничким и економским критеријумима. Ако одређени пројекат захтева оцењивање више концепцијских решења онда процес формирања треба наставити налажењем решења између захтева тих концепција. Зависно од околности некад је могуће одлуку донети док је још у току прелиминарна фаза а некада се мора сачекати одлука о дефинитивном изгледу. Иначе је препоручљиво концепте оцењивати када су на истом нивоу развоја.
11. Поправити прелиминарни изглед. Укупни изглед описује комплетну структуру производа или система који се конструише.
12. Оптимизовати и комплетирати изглед отклањањем слабих тачака које су откривене током оцењивања. Ако дође до напретка поновити кораке и усвојити одговарајућа под решења из мање повољних варијанти које смо одбацили.
13. Проверити да ли се при оваквом распореду јављају грешке у извршавању функција, да ли су просторна ограничења адекватна. Направити унапређења ако је могуће. Обратити пажњу на цену и квалитет.
14. Завршити формирање конструкције прављењем списка делова и документације за монтажу.
15. Потврдити крајњи изглед и прећи у фазу детаљног конструисања.

3. Основна правила формирања конструкције

Основна правила формирања конструкције треба да обезбеде правилно функционисање будуће конструкције. Треба пратити ова правила у свим корацима формирања конструкције, односно за све групе захтева у листи захтева. То су:

-једнозначност (јасноћа),

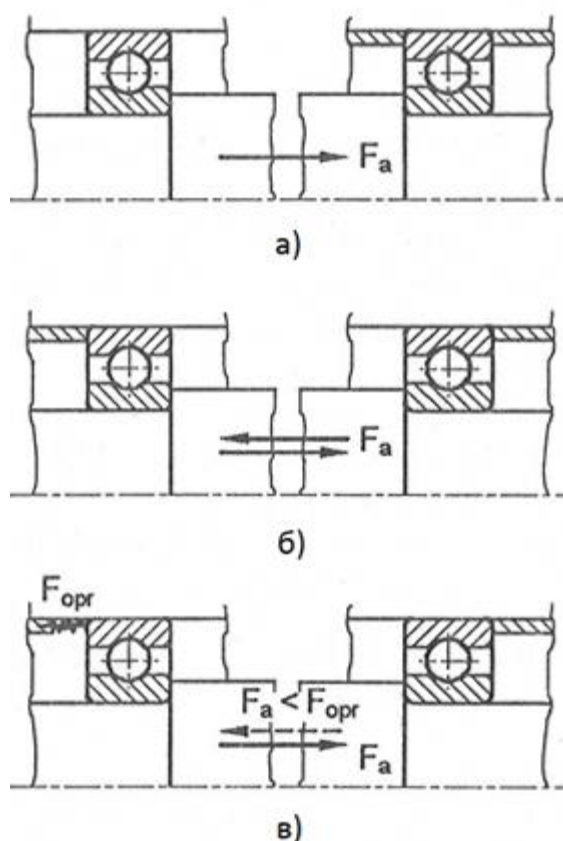
-једноставност и

-сигурност.

3.1 Једнозначност

Једнозначност треба да обезбеди тачно дефинисан однос између укупне функције, парцијалних и елементарних функција одређен структуром функција, као и одговарајући однос улазних и излазних величина[1].

Што се тиче радних принципа, једнозначност треба да обезбеди јасан однос узрока и последица, што се остварује одговарајућим, економичним распоредом компоненти (делова) који гарантује правилан ток материјала, енергије и информација.



Слика 2. Ослањање вратила применом радијалних лежаја[1]

Као пример једнозначности у остваривању радних принципа може да послужи осигурање радијалног лежаја са лоптицама на вратилу (слика 2.), које поред преношења радних оптерећења треба да обезбеди и промене димензија вратила нпр. услед температурских промена. На слици под а) је приказан стандардан распоред и осигурање лежаја, где лежај са десне стране прима целокупну аксијалну силу, а лежај са леве стране дозвољава аксијално померање. Случај под б) обезбеђује преношење аксијалне силе у оба смера, али захтева прецизну израду и монтажу да не би дошло до неправилности у раду лежаја, а такође спречава аксијално померање у било ком смеру. На слици под в) приказан је случај који обезбеђује тачан положај вратила само када сила дејствује у једном смеру (у десно). Аксијалне деформације вратила се компензују еластичним деформацијама опруге (тањирасте). Неправилности у осигурању лежаја могу изазвати додатна напрезања и деформације вратила и интензивно хабање и разарање лежаја.

Да би се дефинисао облик и распоред елемената конструкције потребно је јасно дефинисати величину, карактер, учесталост и трајање оптерећења делова конструкције. Ако ови подаци нису познати конструктор се ослања на претпоставке, апроксимације, податке добијене мерењима и очекивани век конструкције. У сваком случају, мора се на неки начин, доћи до оптерећења која се јављају при различитим условима експлоатације. На сличан начин неопходно је јасно дефинисати и утицај трења, корозије, вибрација (резонанце), поремећаја стабилности, итд.

Правилан однос руковаоц-машина (ергономија) и правилно руковање треба обезбедити одговарајућим распоредом компонената и контролних и управљачких органа.

Да би се обезбедила израда и контрола квалитета потребно је обезбедити једнозначне податке у облику цртежа, листи делова и упутстава. Конструктор треба, такође, да инсистира на строгом придржавању прописаним технолошким и организационим процедурама.

За правилно руковање и одржавање потребно је обезбедити да се конструкција може лако контролисати и да се одржавање врши са што мањим бројем и што једноставнијим алатима и опремом.

3.2 Једноставност

Једноставност конструкције се остварује што мањим бројем и што једноставнијим обликом компонената[1]. Мањи број компонената смањује трошкове производње, смањује трење, олакшава монтажу, итд. Једноставан облик компонената поједностављује и смањује трошкове израде. Извршење жељених функција може се остварити комбинацијом већег броја компоненти једноставнијег облика или мањег броја компоненти сложенијег облика. Одлуку у овом смислу треба доносити на основу прецизне анализе трошкова нпр. применом методе анализе вредности. За остваривање

једноставности погодно је, такође, користити листу захтева за формирање конструкције.

Функције треба остваривати минималним бројем елемената са доследним праћењем структуре функција. Потребно је бирати најједноставније извршиоце функција који не врше неке функције које нису предвиђене структуром функција.

Треба бирати радне принципе који се остварују малим бројем компонената (процеса) и имају очигледне предности у односу на друге у техничком и економском смислу. Једноставност радних принципа зависи од разматраног проблема и ограничења за његово решавање.

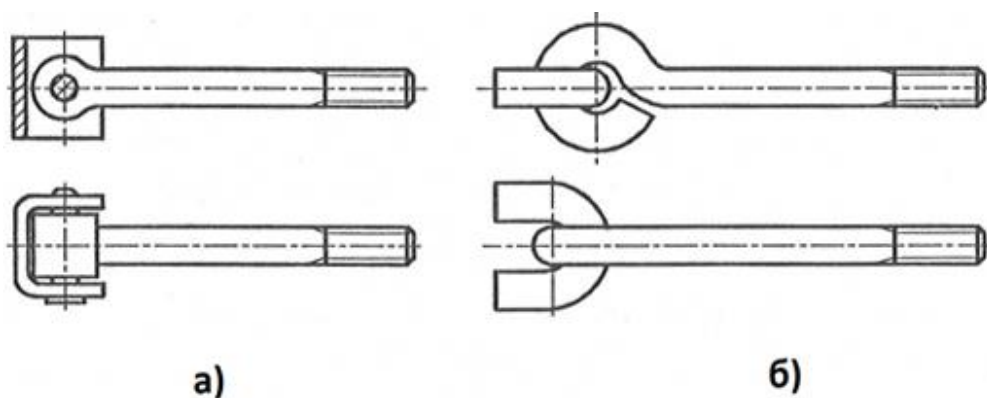
Једноставност облика и распореда компонената обухвата геометријске облике који се могу једноставно изградити, и чије се напонски и деформационо стање може лако анализирати, као и симетричне облике који обезбеђују једноставно одређивање деформација у току обраде услед механичких и термичких напрезања.

Однос руковаоц-машина се може поједноставити рационализацијом поступка руковања, добрим распоредом командних и контролних уређаја и једноставном и лаким сигнализацијом.

Производња и контрола квалитета се може поједноставити, убрзати и побољшати коришћењем облика који дозвољавају коришћење добро развијених и економичних метода обраде, које захтевају мала подешавања машина и мала времена чекања, као и облика погодних за контролу и мерења.

Монтажа и транспорт се могу знатно поједноставити правилним планирањем монтажних и транспортних радова.

Руковање и одржавање се поједностављују формирањем конструкције чији се рад једноставно прати и контролише и чије одржавање захтева што мањи број и што једноставније алате и опрему. У овом смислу од велике помоћи могу бити упутства за руковање и одржавање.



Слика 3. Завртањ за причвршћивање поклопца[1]

На слици 3. је приказана могућност поједностављења завртња за причвршћивање поклопца индустријске опреме. Обе конструкције извршавају исту функцију, али је решење под б) знатно једноставније – мањи су трошкови израде, једноставнија је израда, монтажа и контрола, итд.

3.3 Сигурност

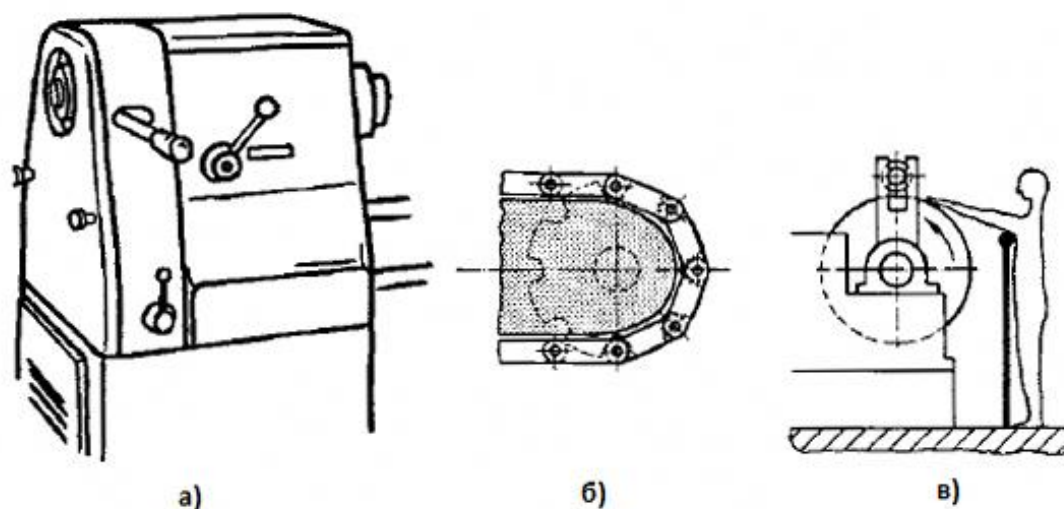
Под сигурношћу конструкције се подразумева поуздано извршавање захтеваних функција као и заштита човекове околине. Сигурност конструкције се може остварити директним и индиректним техникама упозоравања. Директне технике подразумевају да се избором конструкционих решења спрече све опасности (спољне и унутрашње). Уколико то није могуће извести потребно је применити индиректне технике које подразумевају конструисање специјалних заштитних система. Системи упозорења треба да руковоцу укажу на постојање опасности. Повећање сигурности индиректним техникама може битно усложити конструкцију и нарушити принципе једнозначности и једноставности. Сигурност је директно повезана са поузданошћу конструкције. У контексту безбедности, веома је важно да се обезбеди поузданост. Поузданост је способност техничког система да задовољи своје оперативне захтеве у одређеним границама и за потребан радни век. Јасно је да су поузданост појединачних компоненти машине или целе машине, као и поузданост било каквих заштитних система и уређаја, важни услови за безбедност. Без најбољег квалитета који обезбеђује поузданост, заштитне мере немају успеха. Једна мера поузданости је оперативна расположивост техничког система. Доступност је проценат времена када је систем доступан за рад у односу на максимално могуће време, или у односу на жељено време. Поузданост склопова и њихове интеракције, то јест, функционална поузданост машине или заштитног система је од кључног значаја за операцију, оператера, животну средину и безбедност. За конструкторе, све ове области безбедности су веома важне приликом развоја концепта и формирања конструкције. Безбедносна методологија треба да посвети једнаку пажњу свакој од ових области.

Сигурност конструкције се може разматрати кроз следеће четири категорије:

-Сигурност компоненти обухвата заштиту компоненти од лома, недопустивих деформација, нестабилности итд. Постојаност компонената за задата радна оптерећења и радни век треба разматрати повезано са коришћеним материјалима, технологијом израде, итд.

-Функционална сигурност подразумева обезбеђивање безбедног руковања и поузданости машинског система одговарајућим распоредом компонената.

-Сигурност руковоца подразумева безбедност човека, односно заштиту његовог физичког и менталног здравља.



Слика 4. Примери заштите: а) затворено кућиште б) покривена једна страна в) ограда обезбеђује потребно растојање да би рад био безбедан [2]

-Сигурност околине обухвата безбедност људи који нису директно повезани са радом машинског система и заштиту околине од штетних утицаја. Због наглог развоја нових технологија и људске популације, овај тип сигурности је данас врло актуелан.



Слика 5. Веза између поузданости компоненти и функционалне поузданости, с једне стране и оперативне безбедности, безбедности оператора и животне средине са друге[2]

Директне сигурносне мере обезбеђују безбедност кроз системе или компоненте активно укључене у обављање одређеног задатка. Да би се обезбедила сигурност и процена функционисања и трајност компоненти, конструктор може да усвоји један од неколико принципа безбедности. Постоје три основна принципа, и то[2]:

-принцип непрекидног рада,

-принцип резервне безбедности,

-принцип сувишности.

Принцип непрекидног рада захтева да све компоненте и њихове везе буду конструисане тако да омогућавају рад без прекида или кварова током очекиваног животног века.

То се обезбеђује:

-јасном спецификацијом услова рада и утицаја околине, као што су очекивана оптерећења, очекивани радни век,...

-таквом изведбом конструкције која гарантује сигуран рад заснован на провереним принципима и прорачунима,

-бројним и детаљним контролама приликом производње и монтаже,

-анализирањем компонената и целог система да би се одредила њихова издржљивост када су преоптерећени или када раде у неадекватним условима,

-одређивање граница безбедног рада, са великом пажњом посвећеном могућим кваровима.

Карактеристика овог принципа је да безбедност заснива искључиво на прецизности и на познавању утицаја на рад или на утврђивању граница операције где неће доћи до квара.

Принцип резервне безбедности дозвољава отказ неке компоненте система али обезбеђује да неће доћи до тешких последица. У том циљу:

-функција или капацитет, колико год мали, морају бити сачувани да не би дошло до опасности,

-ограничена функција мора бити извршена компонентом која отказује или неком другом компонентом све док се машина не помери из производног циклуса,

-пропусти и кварови се морају идентификовати,

-ефекат неисправне компоненте на безбедност мора бити познат.

У суштини, оштећење главне функције мора бити сигнализирано. Сигнал може имати различите облике(повећање вибрације, губитак снаге...).

Принцип сувишности представља још један начин за повећање безбедности и поузданости система.

Заштитни системи и уређаји се постављају са циљем спречавања опасности по људе и механизацију. Следећи приступи су на располагању:

-када дође до опасности, спречава последице онемогућавањем погона или машине да почну са радом,

-када континуирано постоји опасност, спречава је увођењем заштитних мера.

4. Димензионисање делова машинских конструкција

Димензије делова машинских конструкција треба дефинисати тако да део успешно извршава функцију за коју је намењен уз поштовање свих ограничења која проистичу из његове експлоатације и производње. Спољна оптерећења и карактеристике изабраних материјала представљају главне ограничавајуће факторе за избор димензија. Димензионисање делова машинских конструкција се може вршити према следећим критеријумима[1]:

-ограничења с обзиром на функцију,

-обезбеђење потребне чврстоће,

-обезбеђење потребне крутости и

-задовољење законских и других ограничења.

Сви претходни критеријуми морају бити задовољени дефинисаним димензијама делова конструкција. У зависности од разматраног проблема неки критеријуми су мање, а неки више важни. Уколико је један критеријум за димензионисање доминантан, остали се могу занемарити. Ако постоји више критеријума сличних важности често се дешава да су они међусобно супростављени (противуречни) нпр. обезбеђивање што веће чврстоће уз што мање трошкове. У тим случајевима треба примењивати оптимизационе методе.

Димензије делова се најчешће одређују на основу израчунавања по одређеном редоследу, заснованом на теоријски разрађеним стањима и процесима. То могу бити стања напона, деформација, динамичка и термичка стања, кретање, равнотежа, итд. Многи модели добијени уз бројне претпоставке и ограничења, нпр.: материјал је идеалан, карактеристике материјала, трења, крутости, итд. су константне величине, често се врши линеаризација нелинеарних веза итд. Разлике стварних и радних стања и усвојене апроксимације се компензују поправним коефицијентима који су утврђени на бази искуства или експеримената.

Постоје стања и процеси који нису до краја теоријски разрађени, или су толико сложени да не дају задовољавајуће резултате. У таквим случајевима се користе емпиријске формуле или резултати експеримената. Без обзира да ли су сва питања

теоријски разјашњена, конструктор мора наћи начина да дефинише све димензије делова машинских конструкција.

4.1 Димензионисање на основу функције

Основне димензије делова и склопова машинских система често су дефинисане функцијама које они извршавају. Неке од њих се дефинишу техничким задатком, а основни принцип за њихово одређивање је извршење задатих функција. Примери за овај начин димензионисања су: распон шиљака и растојање између радног вретена и вођица код струга дефинисан величином комада који се обрађује, димензије товарног сандука теретног возила на основу запремине или масе терета који се транспортује, итд.

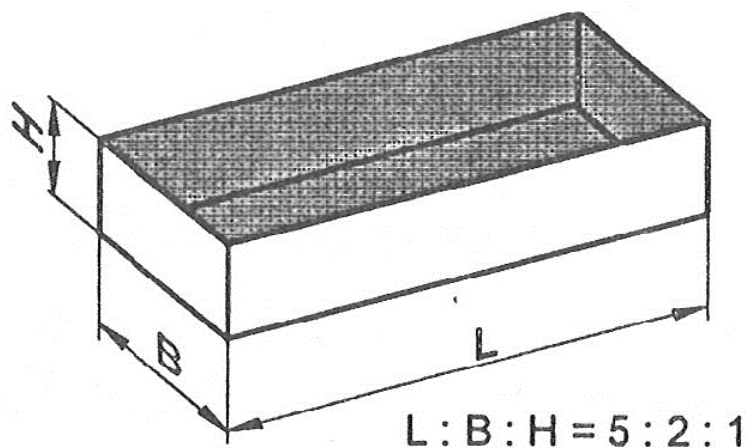
Овако одређене функционалне мере дефинишу и друге мере као што су димензије постоља, положај ослонаца, смештајни простор других делова итд. Ове мере су подложне променама у даљем току димензионисања због неопходности уклапања са мерама које се накнадно одређују.

Према начину одређивања мера димензионисање по критеријуму функције се може поделити у следеће групе[1]:

- димензионисање на основу задатих функционалних величина,
- димензионисање на основу величине радних органа и потребног радног простора и
- димензионисање носећих структура (носача, постоља, ...) које се врши на основу мера компонената у споју.

Дат је практични пример димензионисања на основу задатих функционалних величина.

Потребно је одредити димензије правоугаоног сандука односа страница 5:2:1 у који треба сместити материјал запремине V (слика 6.).



Слика 6. Пример димензионисања на основу задатих функционалних величина[1]

Запремина сандука се може изразити као:

$$V = L \cdot B \cdot H,$$

пошто је $L = 5H$ и $B = 2H$ добија се $V = 5H \cdot 2H \cdot H = 10H^3$,

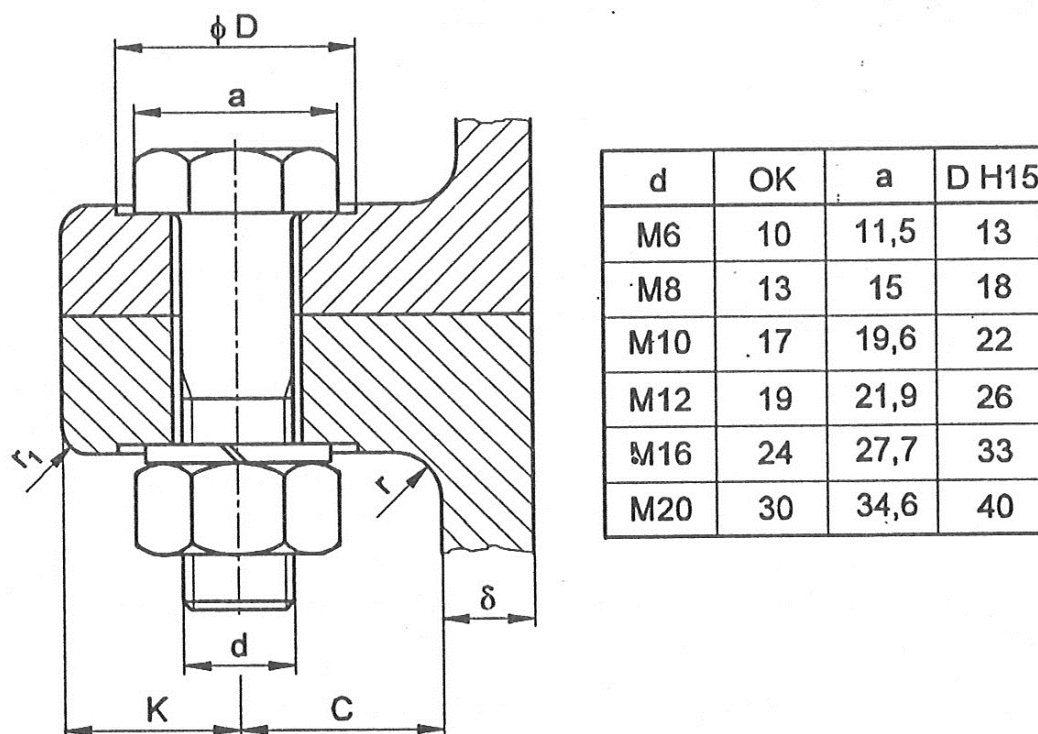
одакле следи да је $H = \sqrt[3]{\frac{V}{10}}$.

На основу вредности димензије H одређују се и димензије L и B . На пример ако је $V = 80 \text{ dm}^3$ (литара), добиће се да је:

$H = 200 \text{ mm}$, $L = 1000 \text{ mm}$ и $B = 400 \text{ mm}$.

Пример димензионисања на основу величине радних органа и потребног радног простора.

Потребно је одредити положај завртња за везивање горњег и доњег обода кућишта редуктора према слици 7. положај завртња треба да буде такав да обезбеди потпуно сигурно стежање и могућност притезања завртња помоћу кључа.



Слика 7. Димензионисање на основу величине радних органа и потребног радног простора[1]

Растојање K се може одредити на основу:

$$K = \frac{D}{2} + r_1 + c',$$

а растојање C на основу:

$$C = \frac{D}{2} + r + c'.$$

$c' = 2 \dots 5 \text{ mm}$ потребан зазор.

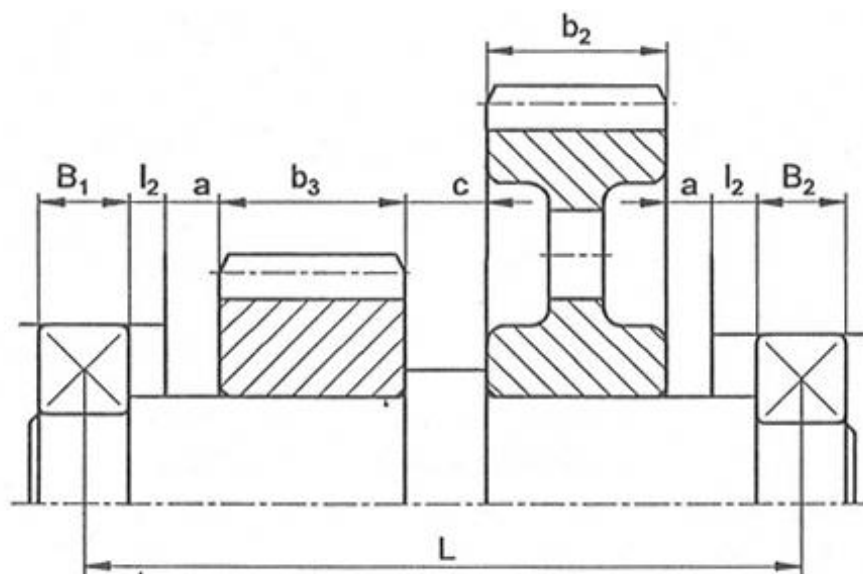
Радијуси r и r_1 се одређују на основу дебљине зида кућишта δ и дебљине обода кућишта према препорукама за обликовање ливених објеката.

Пример димензионисања носећих структура.

На основу познатих димензија и неопходних зазора потребно је одредити дужину редукторског вратила (слика 8.).

Дужина L се може одредити као:

$$L = \frac{B_1}{2} + 2l_2 + 2a + b_3 + c + b_2 + \frac{B_2}{2}$$



Слика 8. Пример димензионисања носећих структура[1]

4.2 Димензионисање на основу потребне чврстоће

Димензионисање по овом критеријуму треба да обезбеди одређену чврстоћу делова машинског система, односно да обезбеди да напони у свим пресецима машинског дела буду мањи од допуштених. На тај начин се спречава појава прлина и лома машинског дела.

Напони у деловима се јављају услед спољашњих и унутрашњих оптерећења. Спољашња оптерећења настају услед дејства силе (и момената силе) којима се извршавају неке функције (нпр.: преношење оптерећења или кретања). Унутрашња оптерећења се јављају нпр. услед температурских промена, заосталих напона,...

Напонско стање (величина, распоред и карактер напона) зависи од облика и димензија дела, као и од карактеристика спољашњег оптерећења. Обично су напонска стања сложеног карактера па се у прорачун морају уводити апроксимације и хипотезе о сломену материјала.

Поступак димензионисања по овом критеријуму је следећи: дефинише се напонско стање дела у функцији његових (непознатих) димензија, па се из услова да напони ни у једној тачки не пређу дозвољене вредности одређују непознате димензије. У пракси то значи да треба наћи тачке у којима се јављају највећи напони (критична места) и у њима извршити димензионисање. На пример, код машинског дела кружног попречног пресека оптерећеног на савијање максимални напони се јављају у спољним влакнима на месту где је максимална вредност момента савијања и износе:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{M}{\frac{\pi d^3}{32}},$$

из услова да је $\sigma \leq \sigma_{doz}$ одређује се величина пречника d :

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32M}{\sigma_{doz}}}$$

Код делова изложених дејству сложеног оптерећења највећи напони се одређују сабирањем нормалних и смицајних напона по некој од хипотеза о слому материјала.

Овакав поступак димензионисања је релативно једноставан, али има следеће недостатке:

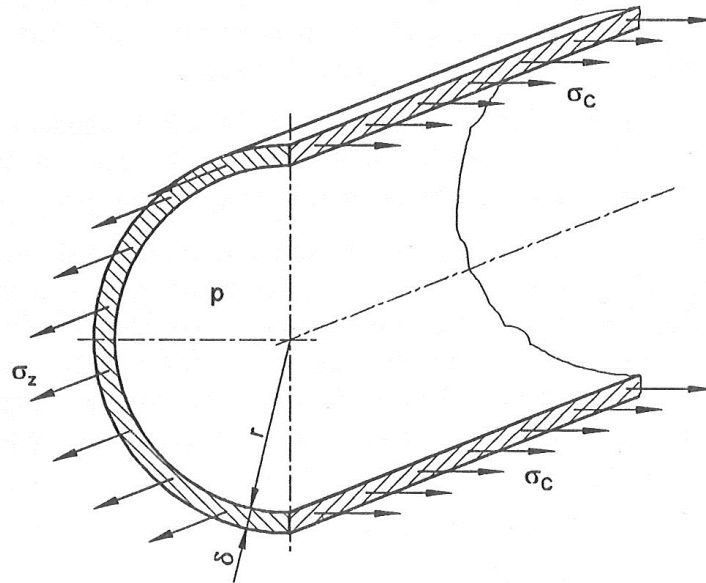
-Једначине за одређивање напона су изведене за идеалне услове (идеално еластичан материјал и без присуства концентрације напона). Ове једначине у сложенијим случајевима се добијају применом одговарајућих апроксимација, што изазива разлике (нетачности) у односу на реално напонско стање. Хипотезе о слому материјала код сложених напонских стања, такође, користе апроксимације што уводи још један елемент непоузданости у прорачун.

-Услед локалне промене димензија јавља се концентрација напона коју је у овој фази тешко укључити због још увек непознатих димензија. Концентрација напона се узима у обзир или повећањем радног или смањењем критичног напона.

-Дозвољени напон се одређује на основу критичног напона и степена сигурности или на основу теорије поузданости или теорије разарања. Сваки од ових начина укључује додатне апроксимације и несигурности.

Без обзира на претходне недостатке овај начин димензионисања се често примењује јер је једноставан. Може се у многоструку поправити применом итеративних поступака, методе коначних елемената, итд.

Као пример димензионисања по критеријуму чврстоће биће размотрен суд под притиском (слика 9.).



Слика 9. Напони у зидовима суда под притиском[1]

Зидови судова под притиском су изложени затезању. Према теорији еластичности циркуларни напон σ_c је двоструко већи од напона σ_z и износи:

$$\sigma_c = \frac{p \cdot r}{\delta}$$

Из услова да је напон мањи од дозвољеног, односно $\sigma_c \leq \sigma_{doz}$ следи:

$$\delta \geq \frac{p \cdot r}{\sigma_{doz}} + c_1 + c_2, \text{ где је:}$$

c_1 - додатак за губитке дебљине услед корозије, а c_2 -додатак услед одступања дебљине лима.

4.3 Димензионисање на основу потребне крутости

Крутост машинског дела (конструкције) се дефинише као отпорност на деформације. Деформације настају услед деловања оптерећења. Уколико су деформације веће од дозвољених може бити нарушено правилно функционисање конструкције. На пример: велике деформације вратила зупчастог преносника могу нарушити правилну спрегу зупчаника правилан рад лежаја, велике деформације носећих структура могу нарушити међусобни положај компонената на њој, итд. Са друге стране, функције неких делова се остварују тачно дефинисаним деформацијама, односно крутостима нпр. опруге.

Поред оптерећења на деформације утичу и димензије и облик делова , начин ослањања итд. Због великог броја утицајних фактора и њихове сложене међузависности димензионисање по овом критеријуму је доста сложено. Поред тога, димензије добијене по овом критеријуму су обично обично веће од димензија које су добијене на

основу критеријума чврстоће. Због ових разлога се димензионисање по критеријуму крутости врши само када је то неопходно.

Укрућењима и избором погодног облика се може постићи потребна крутост. То је нарочито изражено код делова од којих се захтева мала маса као нпр. код ваздухопловних и транспортних средстава.

Редукторско вратило је добар пример димензионисања на основу крутости. Угиб вратила зупчастог (пужног) преносника може се приближно изразити као:

$$f = \frac{F \cdot l^3}{48EI} \leq f_{doz} \approx d \cdot 10^{-3}, \text{ где је:}$$

-F- укупно радијално оптерећење, l- растојање између лежаја, E- модул еластичности материјала вратила, а:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} - \text{момент инерције попречног пресека вратила.}$$

На основу претходно приказаних једначина добија се:

$$d \geq \sqrt[5]{\frac{400}{3\pi} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E}}, \text{ односно } d \geq 3,354 \cdot \sqrt[5]{\frac{F \cdot l^3}{E}}.$$

4.4 Димензионисање с обзиром на законска и економска ограничења

У области машинског конструисања користи се читав низ прописа, стандарда, препорука итд., који на различитим нивоима имају снагу закона. На пример, коришћење националних стандарда у једној земљи или интерних прописа у једном предузећу су обавезни.

Стандардизација се користи у свим фазама конструисања, а у процесу димензионисања њена примена се може поделити у следеће групе:

-Стандардизација мера и других нумеричких карактеристика: димензије (посебно монтажне), димензије полуфабриката (стандардни профили, дебљине лимова, пречници цеви,...), носивости, снаге, итд.

-Карактеристични облици, њихове димензије и толеранције: навоји, зупци зупчаника, жљебови, средишна гнезда,...

-Стандардни машински делови и склопови: завртњи, навртке, подлошке, лежаји, клинови, вентили,... Интерни стандарди могу знатно проширити број стандардних делова: спојнице, редуктори, електромотори,...

-Стандардизација поступака прорачуна, испитивања, означавања, графичког приказивања, итд. На пример: стандардизовани или опште прихваћени поступци

прорачуна зупчаника, лежаја, ... , правила техничког цртања, поступци испитивања материјала и карактеристика делова, ознаке материјала, физичких величина, делова, итд., јединице физичких величина, итд.

Типизација представља вид стандардизације чији је циљ да се асортиман производа сведе на најповољнији низ. Типизацијом се стварају фамилије производа, што значи да се исти облик израђује у различитим величинама, при чему се остварују различите радне карактеристике.

Унификација је вид стандардизације чија је суштина у коришћењу једнообразних елемената у једној или више различитих конструкција, чиме се постиже читав низ позитивних ефеката.

Модуларно конструисање (Баукастен) се заснива на комбиновању готових целина (агрегата, склопова) чиме се формира машински систем. Различитим распоредом и различитим компонентама може се добити велики број варијанти конструкционог решења.

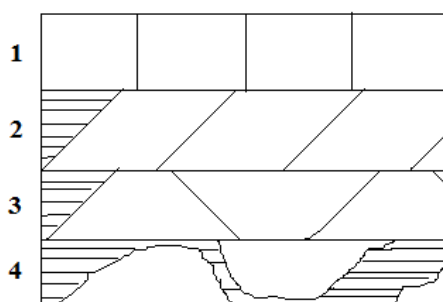
Поред стандардизације, законски прописи утичу на димензионисање и по другим критеријумима. Ово се пре свега односи на машинске системе који могу угрозити безбедност људи. Тако су на пример законима прописане чврстоћа и крутост шкољке аутомобила с обзиром на чеони и бочни удар, итд.

У фази димензионисања делова конструкције економска ограничења се, у суштини, свode на избор минималних димензија делова које задовољавају раније наведене критеријуме. Позитивни економски ефекти се остварују пре свега кроз уштеду материјала, али и кроз олакшану и брзу израду, монтажу, транспорт, одржавање, итд.

При конструисању облика увек се води рачуна о цени и о уштеди у количини материјала. То је још значајније уколико је већи број примерака предвиђен за производњу. За постизање уштеде у количини материјала, и у трошковима за набавку материјала, има више могућности, на пример:

1. Избегавање употребе материјала који се тешко набавља или који је скуп. Треба настојати да се избор задржи на јефтином материјалу уколико то допуштају услови које је конструктор предвидео, а исто тако да се, када је потребно, 'оптимални' материјал замени погодним, сродним материјалом.
2. Израда елемената од двају или више делова различитог материјала. На пример код пужног зупчаника само венац може да буде направљен од скупocene бронзе, а труп од знатно јефтинијег сивог лива.
3. Искоришћавање истакнутих особина материјала. Као најубедљивији пример може послужити сиви лив који је знатно отпорнији на притисак него на затезање па делове од сивог лива обликујемо тако да више буде оптерећен на притисак, а да делови који су изложени на затезање имају већу масу.

4. Смањивањем отпадака материјала. Решеткаста челична конструкција, за коју је позната шема, састоји се од штапова који се повезују заваривањем или закивањем помоћу чворних лимова *a*. Чворни лимови се исецају из лимене плоче. Отпаци материјала приликом исецања могу се знатно смањити ако се разумно изабере облик чворног лима, што се јасно види на слици 10., према којој је најповољнији облик чворног лима правоугаоник(1) затим ромб (2) или трапез (3), док је најнеповољнији облик (4) који даје знатно веће отпатке а и неподесан је за исецање.



Слика 10.

5. Применом стандарда.
6. Применом заварених конструкција.
7. Применом лаких конструкција.

5. Обликовање делова машинских конструкција

Облик машинских делова је дефинисан комбинацијом равних, цилиндричних, конусних, сферичних, торусних, ... површина. При обликовању делова треба тежити што једноставнијим облицима који обезбеђују извршавање одређених функција уз поштовање осталих ограничења, пре свега израде и монтаже.

5.1 Обликовање с обзиром на технологију израде

Избор начина израде дела зависи од расположивих технологија, броја комада у серији, облика и величине дела, итд. Изабрана технологија утиче на облик машинског дела. То показује сложеност избора технологије која захтева од конструктора поред познавања функције и услова у којима део ради и познавање суштине различитих технологија израде.

Израда машинских делова се одвија обично у две фазе. У фази претходне обраде врши се грубо обликовање делова при чему се добијају грубе површине и мала тачност облика и димензија. У ову фазу спадају обрада ливењем, заваривањем, пластичним деформисањем (ковањем, пресовањем, извлачењем, савијањем, просецањем,...), резањем, синтеровањем, итд. У другој фази (накнадна или завршна обрада) машински делови добијају коначан облик, димензије и карактеристике површина. У ове поступке обраде спадају пре свега обраде резањем (стругање, глодање, брушење, провлачење,...) као и неконвенционални поступци обраде (електроерозије, обрада ласером,...). У зависности од захтеваних карактеристика делова неки поступци се могу примењивати и у претходној и у завршној обради. Често се за промену карактеристика делова користе и посебне врсте обраде као што су термичка и термохемијска, ојачавање делова пластичним деформисањем, итд.

Правилним обликовањем потребно је облик машинског дела прилагодити алату (машини), процесу обраде и ако је потребно накнадној обради. Основни циљеви које треба постићи су смањење трошкова израде и/или побољшање квалитета производа.

5.1.1 Заварене конструкције

Заваривање се широко примењује за обликовање конструкција од полуфабриката и то од лимених ваљаних производа који служе за израду резервоара, бункера, комора, оплата, облога и слично, и од цевних и ваљаних профила за израду решеткастих носача, рамних конструкција, стубаца, подупирача и слично. Честа је примена заваривања у изради кућишта, ослонаца, шасија и основних машинских делова који се добијају спајањем главчине и венца на пример код зупчаника, каишника, добоша дизалица итд.

Заварене конструкције имају примену у појединачној и малосеријској производњи. Значајна примена заваривања је у изради сложених облика који се рашчлањују на једноставније добијене ваљањем, пресовањем или ливењем, који се затим спајају заваривањем.

Предности заварених конструкција су[5]:

- Лакше су од ливених за око 30%, а од закованих за око 15%.

- Заварени делови су једноставног облика јер су полазни делови најчешће од лимова или стандардних профила.

- Поступак заваривања је јефтинији у односу на друге поступке израде.

- Оштећења и лимови код заварених конструкција се лакше поправљају накнадним заваривањем.

Недостаци заварених конструкција су[5]:

-Постоје тешкоће у заваривању неких метала.

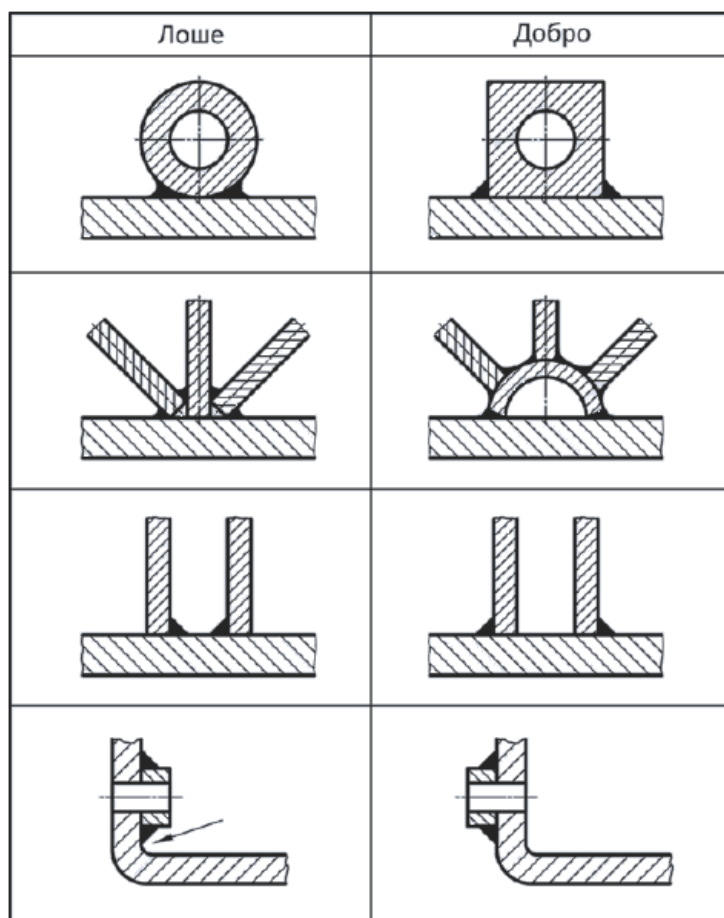
-У процесу заваривања долази до снижавања чврстоће и жилавости спојева.

-После заваривања услед хлађења долази до појаве деформација и заосталих унутрашњих напона.

-Постоји зависност квалитета спојева од технологије и режима заваривања, а при ручном заваривању и од самог заваривача.

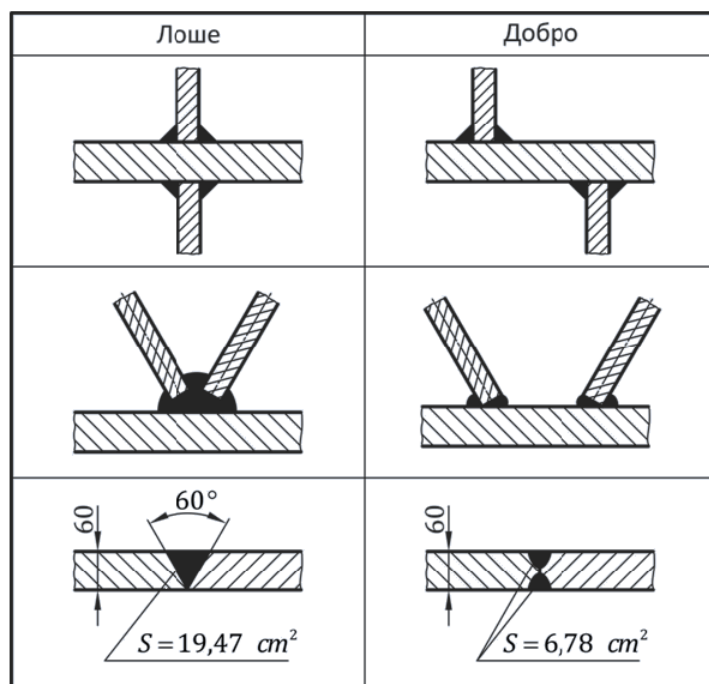
Најпогоднији материјали за заваривање су: нискоугљенични челици са мање од 0,25% угљеника, нисколегирани челици са малим садржајем угљеника и високолегирани челици са већим процентом хрома и никла. Под одређеним условима могу се заваривати и друге врсте челика, сивог лива, месинга, бронзе, алуминијума, пластичних маса и др.

При формирању конструкције треба обезбедити приступ споју ради лакше израде (слика 11).



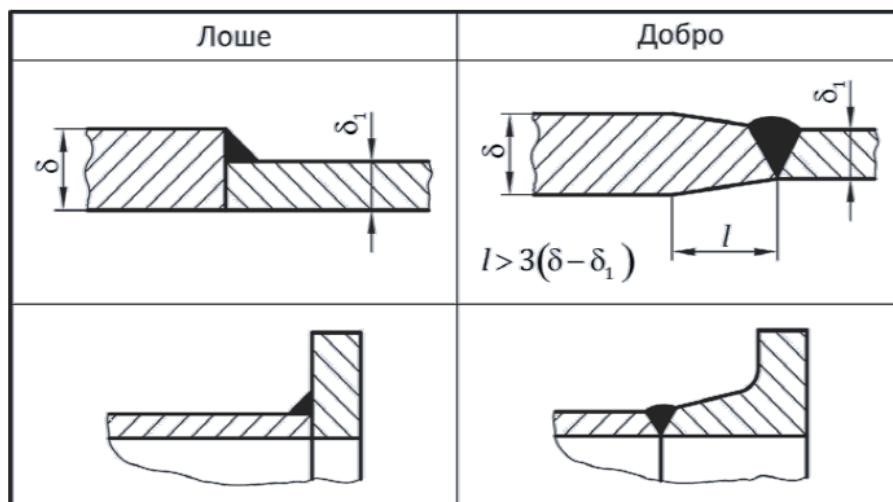
Слика 11. Обезбеђење приступа завареном споју при конструисању[5]

Потребно је избегавати нагомилавање заварених маса(слика 12).



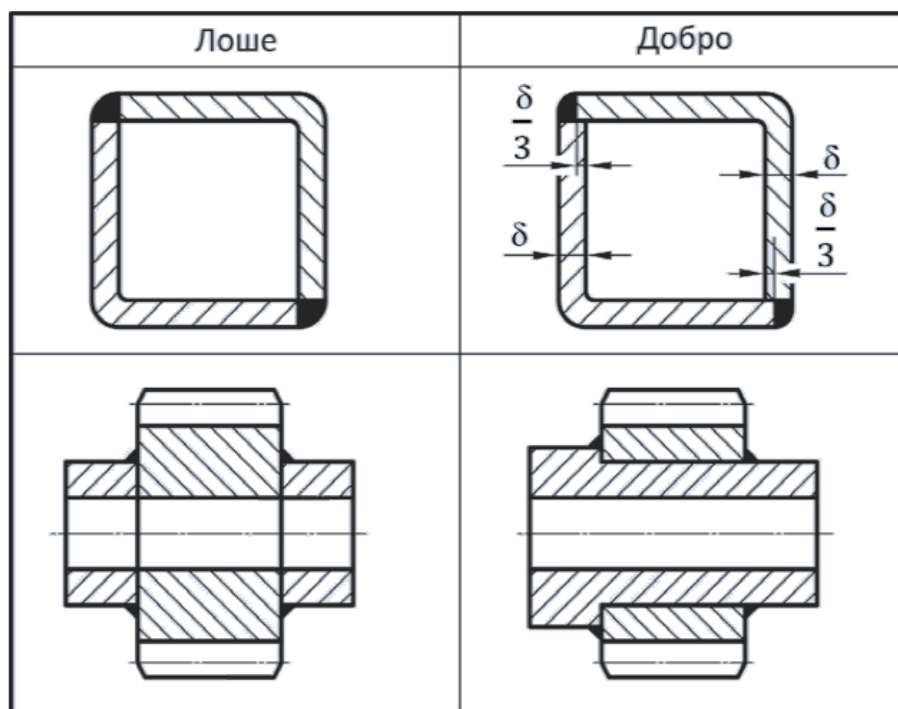
Слика 12. Избегавање нагомилавања заварених маса

При спајању делова различитих дебелина треба се руководити препорукама датим на слици 13.



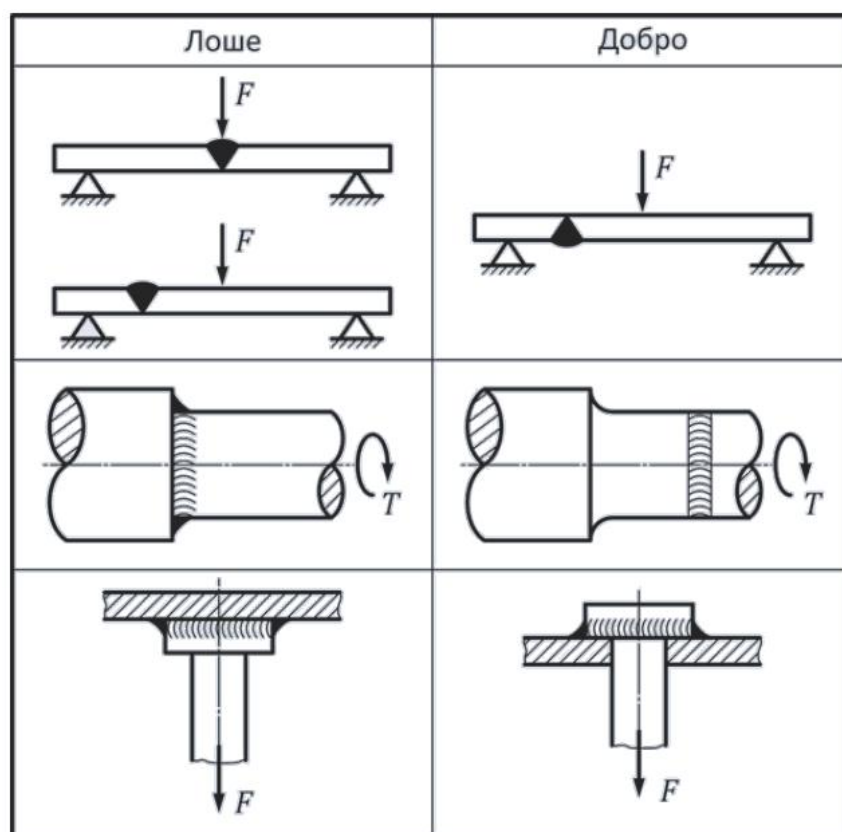
Слика 13. Спајање зидова различитих дебелина

При постављању делова које треба заварити мора се водити рачуна о остварењу њиховог исправног положаја. Пример је дат на слици 14.



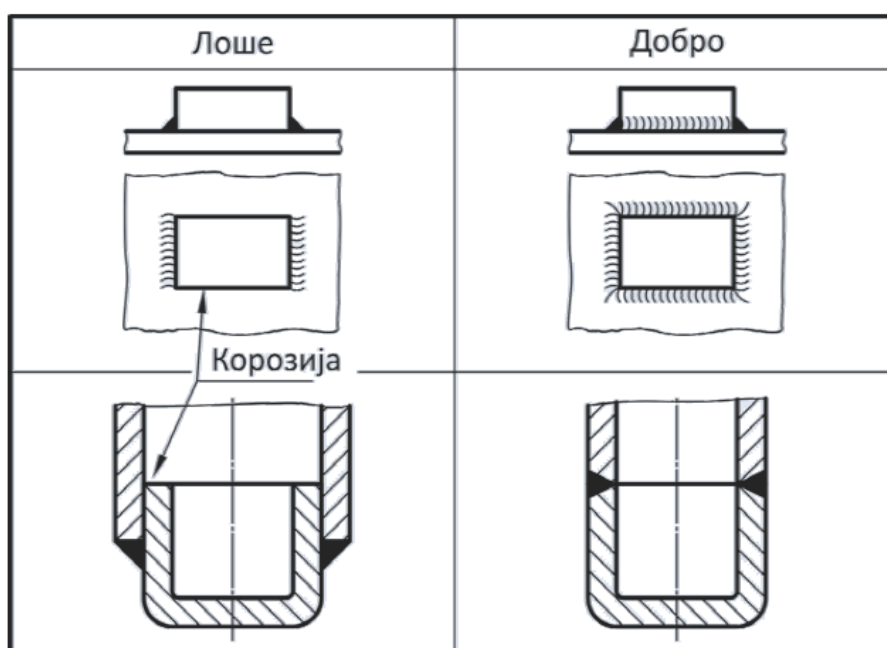
Слика 14. Постављање делова при заваривању

Испитивања показују да је неповољно да сила директно делује на заварени спој и да је потребно водити рачуна о усмеравању облика пресека споја у односу на усмерење силе. Заварени спој треба удаљити од места где већ постоји концентрација напона, а правилним конструкционим решењем могуће је у потпуности растеретити заварени спој (слика 15).



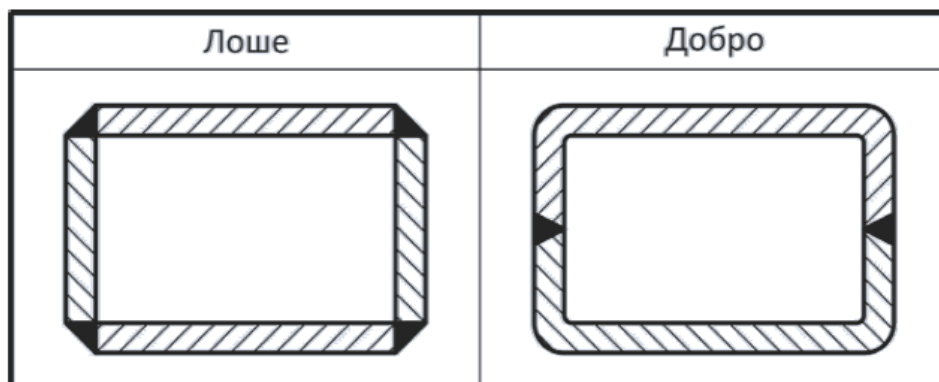
Слика 15. Деловање оптерећења и заваривање

На слици 16 су приказана могућа места појаве корозије ако је конструкција изложена деловању спољних атмосферских утицаја. Повољније је заваривање извршити по целом обиму тј. и на местима где постоји могућност појаве корозије.



Слика 16. Избегавање утицаја корозије код заваривања

Обим заваривања треба да буде што мањи што се првенствено односи на сложене конструкције са великим бројем варова. За ове конструкције треба прописати редослед заваривања појединих варова при чему се води рачуна да заваривање започне у центру сложене конструкције па се постепено врши према периферији. Обим заваривања је могуће смањити и савијањем лимова као на примеру датом на слици 17.



Слика 17. Смањење обима заваривања

5.1.2 Обликовање одливака

Ливењем се првенствено израђују машински делови сложеног облика, мање чврстоће, мање тачности, великих мера односно већих димензија, нижег квалитета слободних површина и већих серија[5]. Најчешће се примењује ливење у песку. Ливење у металним калупима-кокилама се користи у мањој мери. Израда металне кокиле је економична тек ако је потребно изградити више од 1000 комада. Специфичности израде ливених делова произилазе из услова скупљања метала при хлађењу, одвођење топлоте, истицања гасова и неметалних укључака и слично. Хлађењем, димензије делова се смањују 1-2 % зависно од врсте материјала(сиви лив 1%, лаки метали 1,25% , обојени метали 1,5% и челични лив 2%), на шта конструктори посебно треба да обрате пажњу. Облик калупа треба да буде прилагођен могућностима вађења модела из песка, обезбеђењу сигурне форме за уливање метала, добар проток метала и испуњавања свих шупљина. Ливене конструкције се често примењују у различитим машинама као што су: мотори, турбине, компресори, машине алатке итд. Удео масе ливених делова у овим машинама је и до 80%. Ливењем се добијају делови сложеног облика, већих димензија, мање тачности, мањег квалитета површина и мање чврстоће. Ливење се примењује за делове који се израђују у већим серијама чиме се смањују укупни трошкови производње.

Ливене објекте треба конструисати тако:

-да буду технолошки погодни,

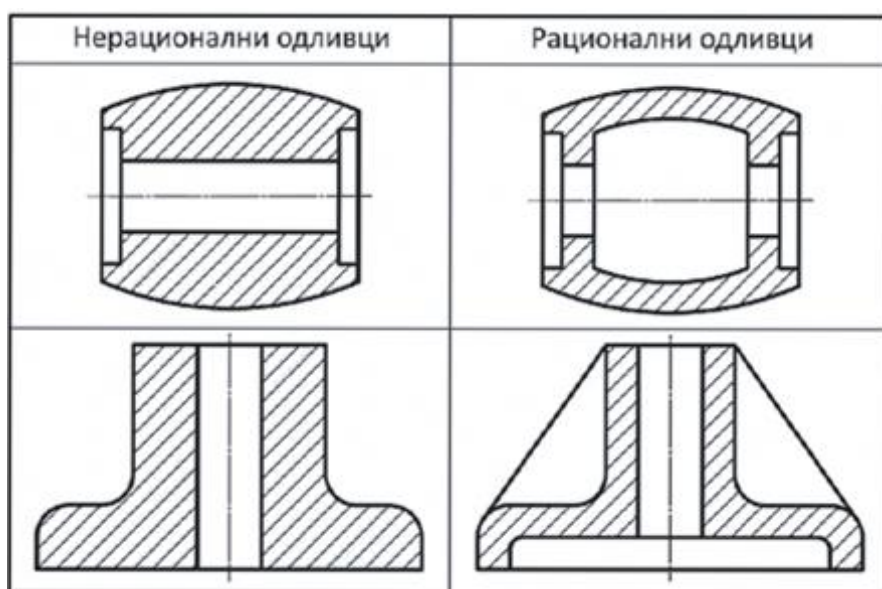
-да се осигура што мањи утрошак рада и материјала и

-да се омогући максимална механизација и аутоматизација производње.

Материјал	Највећа мера одливка у <i>mm</i>		
	До 500	До 1500	Изнад 1500
Сиви лив	6	10	15
Челични лив	7	12	20
Бронза	3	6	-
Al - легуре	3,5	-	-

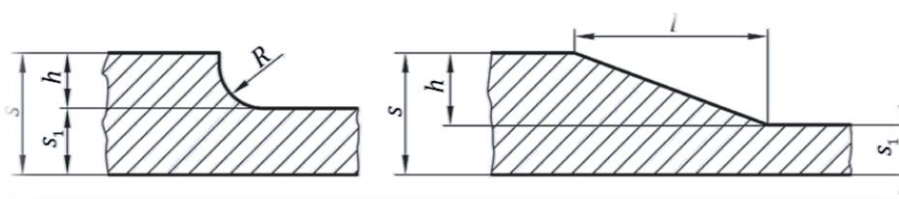
Табела 1. Препоруке за минималне дебљине зидова код одливака

Неопходна крутост и чврстоћа одливака смањених дебљина зидова остварује се применом рационалних профила одливака(слика 18).



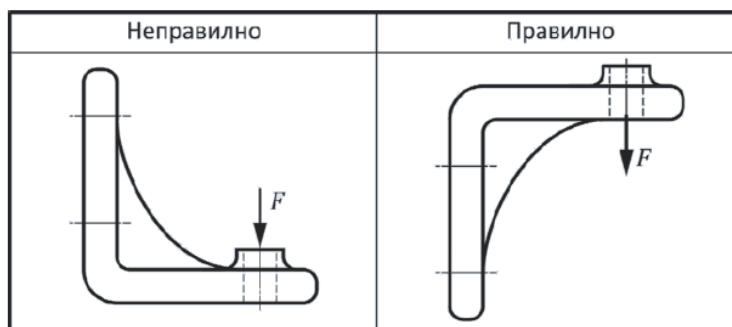
Слика 18. Примери рационализације облика одливака

При формирању конструкције која се добија технологијом ливења треба се придржавати препорука да се извођење прелаза са једне дебљине зида на други врши преко кружног заобљења или помоћу нагиба(слика 19), неопходно је избећи свако нагомилавање материјала које би могло проузроковати стварање шупљина и дефеката у материјалу после хлађења одливака.



Слика 19. Извођење прелаза код зидова одливака

Механичка дејства не треба да изазивају неповољне врсте напрезања. Погодно је да се напрезање на затезање замени напрезањем на притисак јер сиви лив три до четири пута боље подноси притисак од затезања(слика 20).



Слика 20. Оптерећење и напрезање одливка

5.1.3 Обликовање делова добијених пластичним деформисањем

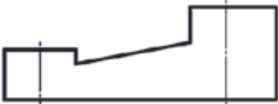
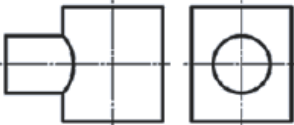
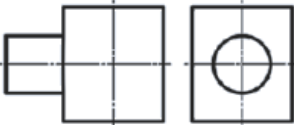
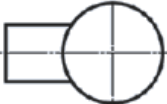
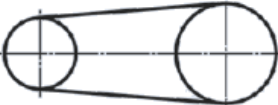
Ковани и пресовани делови се добијају обрадом пластичним деформисањем у врућем или хладном стању. Обрадом деформисањем у врућем стању добијају се производи добрих механичких карактеристика са задовољавајућом тачношћу мера, али је цена производње већа у односу на обраду ливењем или заваривањем.

При конструисању отковака и отпресака треба водити рачуна о:

- избору материјала,
- избору погодног облика,
- додацима за накнадну механичку браву,
- постојећима алатима –калупима.

Препоруке за обликовање делова који ће бити израђени технологијом ковања су (слика 21.)[5]:

- при врућем пресовању неопходно је полазни материјал припремити тако да по облику што више одговара готовом отпреску,
- бочним површинама отпресака треба дати нагибе,
- прелазе са једне површине на другу треба изводити са заобљењима,
- правац удара пресе треба да се поклапа са правцем влакана.

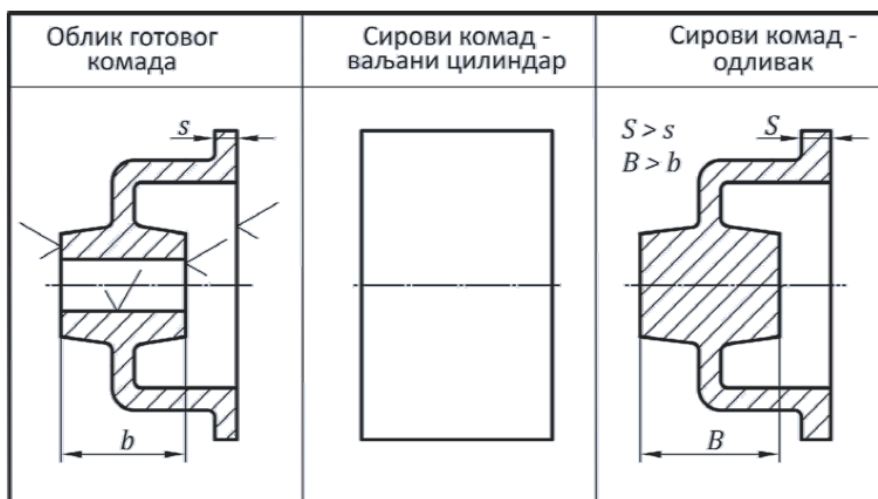
Правило	Неправилно	Правилно
Избегавање облика са малим нагибом		
		
		
Избегавање пресецања цилиндричних површина		
		
Избегавање пресецања призматичних са цилиндричним површинама		
		

Слика 21. Препоруке за конструисање отковака

5.1.4 Правила обликовања делова обрађених резањем

Основна правила обликовања делова с површинама обрађеним резањем су[5]:

-облик полазног сировог комада треба да је што ближи облику обрађеног машинског дела(слика 22.),



Слика 22.

-делове сложеног облика рашчланити ради лакше механичке обраде,

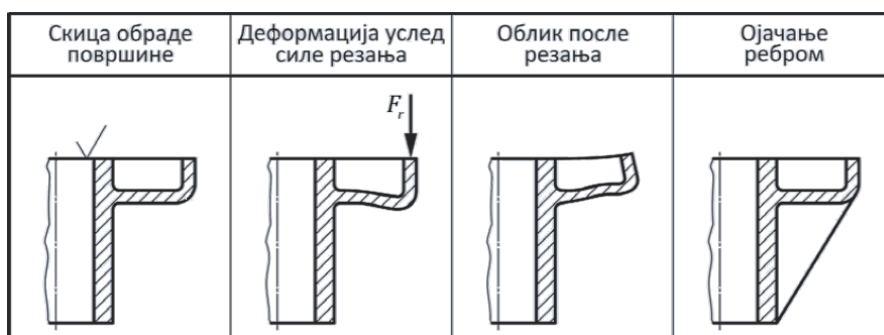
-треба предвидети канале за излаз алата при изradi спољних и унутрашњих прелаза(слика 23.),



Слика 23.

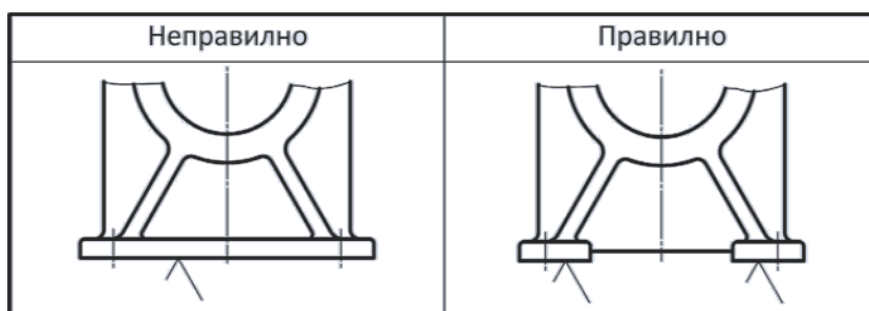
-површине које треба да су узајамно тачно обрађене треба обрадити при истом стезању комада по могућству у истом пролазу,

-треба водити рачуна о деформацијама комада услед силе резања(слика 24.),



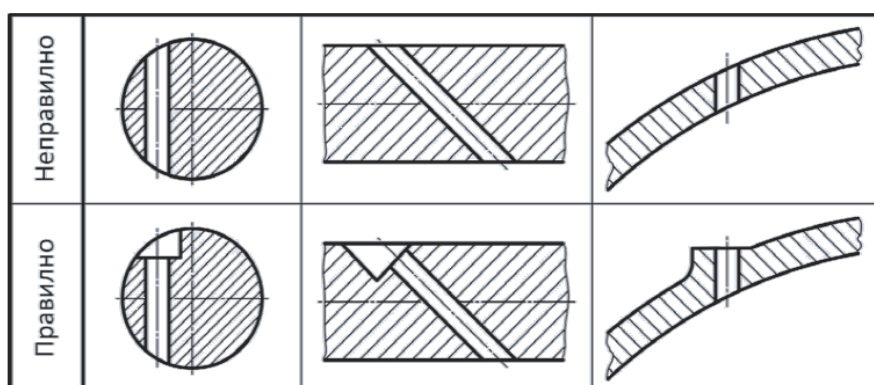
Слика 24.

-треба смањити површине које се механички обрађују и друго(слика 25.).



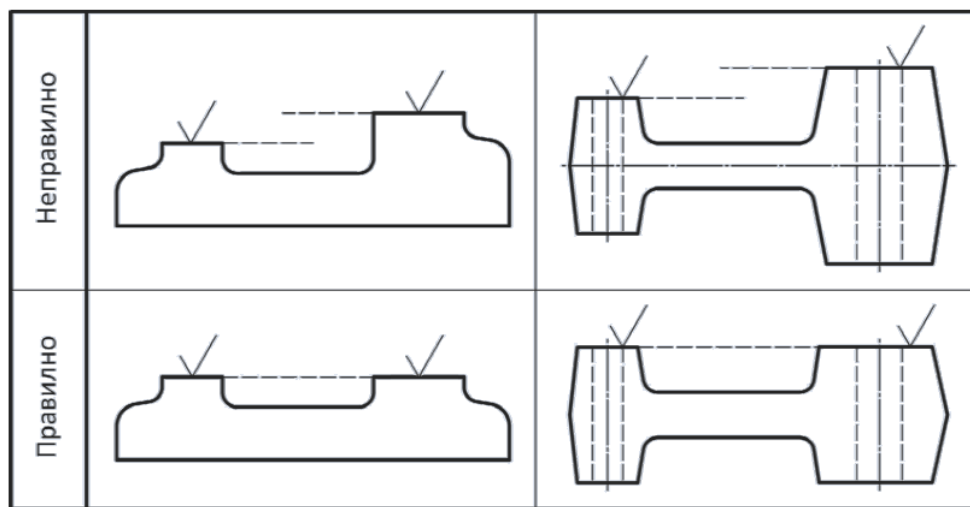
Слика 25.

-отворе бушити управно на равне површине(слика 26.),



Слика 26.

-механички обрађене површине треба истакнути у односу на необрађене и по могућству довести на исти ниво(слика 27.),



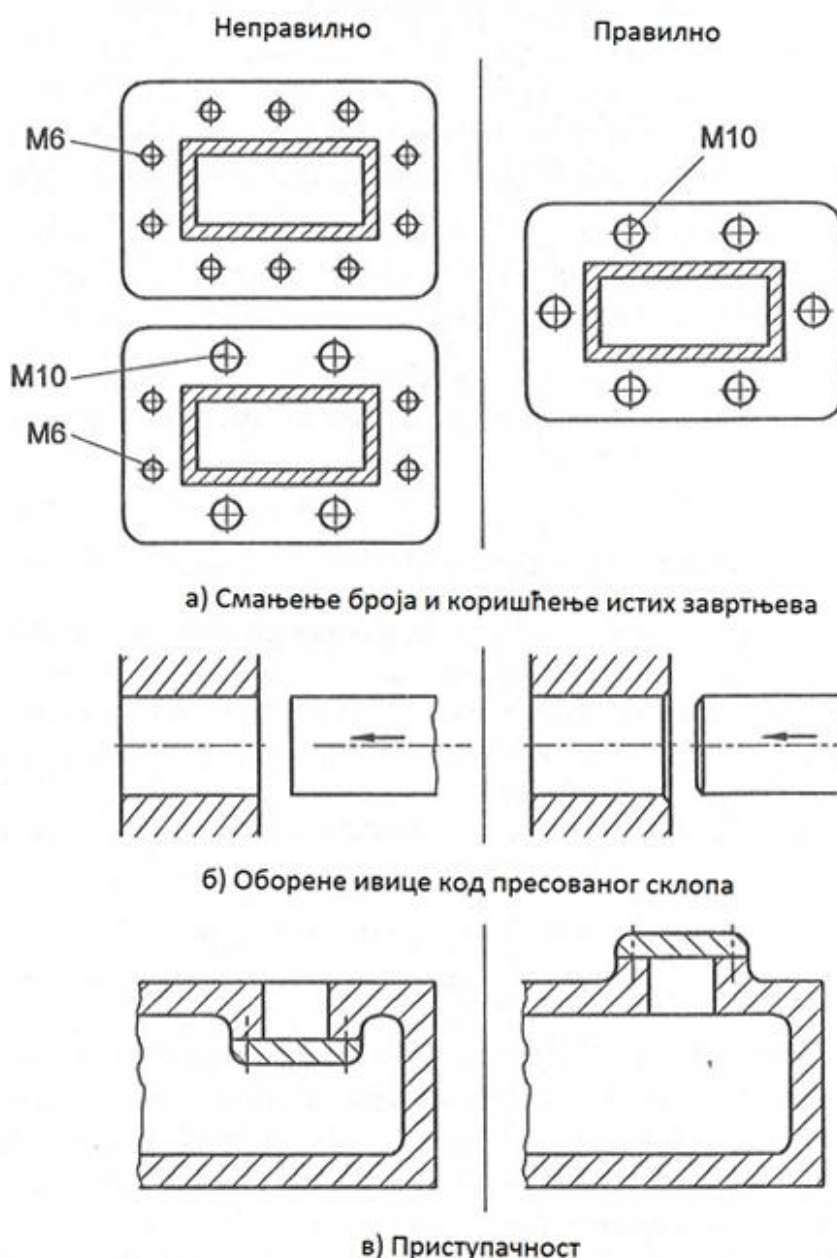
Слика 27.

5.2 Обликовање с обзиром на монтажу

Машински системи се обично састоје од више компонената који су у међусобној вези. У процесу израде потребно је да свака компонента заузме своје место и да се оствари међусобни однос са осталим компонентама. То се остварује процесом склапања, који се заједно са расклапањем јавља у току целог радног века производа приликом одржавања. Битна карактеристика производа је погодност одржавања, па се у процесу формирања конструкције мора посветити посебна пажња склапању и расклапању као и могућности приступа појединим компонентама машинског система.

Процес монтаже у условима израде се одвија у више фаза. У првој фази се врши склапање елемената у подсклопове, а затим се од подсклопова образује конструкција. Подсклопови се могу монтирати на различитим местима и у различито време. Процес монтаже у условима израде се може обављати на различите начине од ручног (мануелног), преко различитих нивоа аутоматизације и механизације, до компјутерски контролисаног, роботизованог процеса. Избор начина монтаже зависи од броја и сложености компонената, величине серије, потребне продуктивности, расположивих средстава, итд. Виши ниво аутоматизације поставља строжије захтеве у погледу обликовања компонената: потребно је обезбедити прикладно складиштење, приступ, вођење, усмеравање, позиционирање, спајање, итд. Ово се остварује посебним облицима, додатним елементима, испустима, итд. У роботизованом процесу монтаже неопходно је обезбедити и аутоматско препознавање компонената. Дobar пример за ово су новије конструкције аутомобилских мотора које су потпуно прилагођене компјутерски контролисаном и роботизованом процесу монтаже (и израде). Без обзира на степен аутоматизације погодно је извршити механизовање операција које су напорне за човека (подизање, транспорт, притезање завртњева,...), за шта је често потребно предвидети посебне облике и елементе (куке за транспорт, одговарајући положај завртњева,...).

Процес монтаже у условима одржавања се знатно разликује од монтаже при изради. Монтажа при изради се врши по тачно утврђеном редоследу, операције су мање или више механизоване и добро увежбане, приступ деловима је слободан, итд. Када је у питању одржавање расклапање и склапање се врши најкраћим путем до компоненте коју треба заменити, често нису доступни одговарајући алати, посебно специјални, радници одржавања немају рутину нарочито за отклањање ретких кварова, везе елемената (завртњи, пресовани склопови...) услед експлоатације постају тешко раздвојиви...



Слика 28. Примери обликовања са аспекта монтаже

За процес монтаже при изradi важан је облик делова, а за одржавање је важнији облик подсклопова. Обликовање с обзиром на одржавање треба да обезбеди једноставан приступ местима(слика 28.) где настају најчешћи кварови као и деловима који имају ограничен век(заптивци, лежајеви,...).

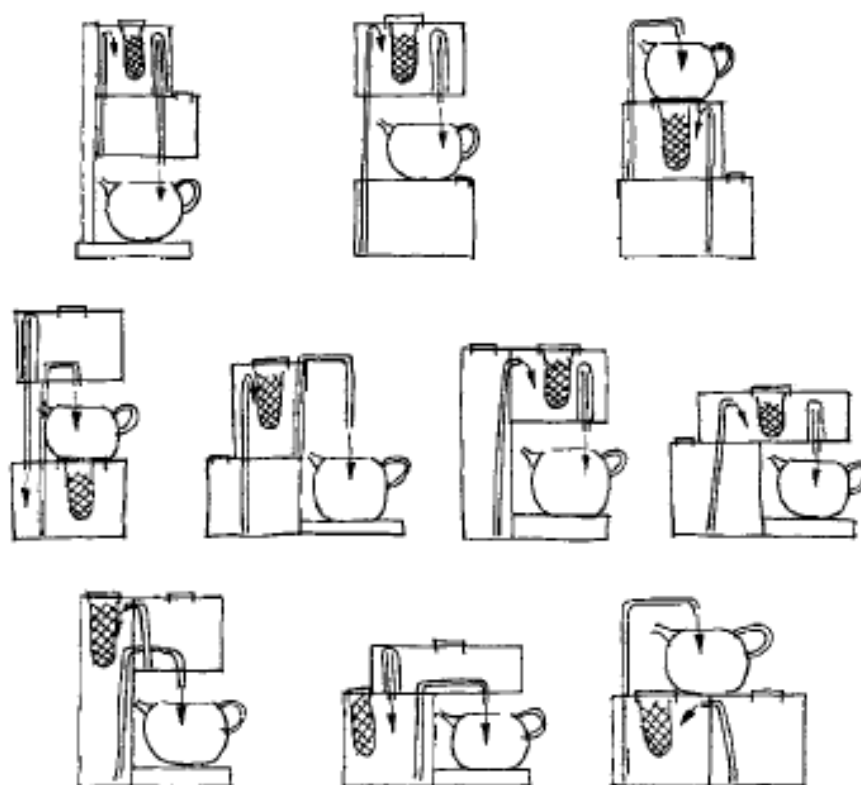
За правилну монтажу и одржавање потребно је обезбедити одговарајућа, прецизна упутства.

На слици је приказано неколико примера правилног и неправилног обликовања са аспекта монтаже.

5.3 Обликовање с обзиром на естетику

Технички производи не треба само да задовоље техничке услове који су им задати него је неопходно и да њихов изглед задовољи одређене естетске критеријуме да би били пријатни и прилагођени кориснику. Основне смернице које конструктор треба да прати су да спољни облик треба да буде компактан, јасан, јединствен, усклађен са функцијом, и компактан са материјалима и производним процесом.

Данас естетика заузима веома битно место и скоро је битна као и функционалност тако да је естетски дизајн велики изазов за конструкторе. Проучавањем визуелних људских потреба се баве психолози и уметници тако да се индустријски дизајн налази између уметности и науке. У потрази за решењем примењује се класичан инжењерски приступ као нпр. поступни развој варијанти кроз скице, и систематске варијације конфигурације, облика и боје(слика 29.).



Слика 29. Систематске варијације структуре при конструисању аутомата за чај[2]

Треба размотрити тип корисника коме је намењен производ, да ли је намењен професионалцу, некоме ко тражи престиж, носталгичару или авангардисти.

Генерално изглед треба да буде:

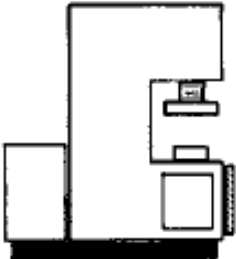
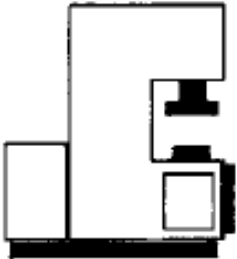
-једноставан, јединствен и стилизован,

-структуран и пропорционалан,

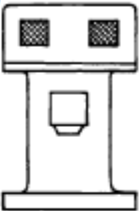
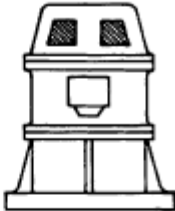
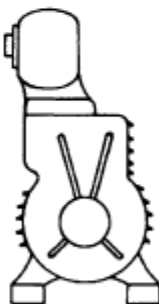
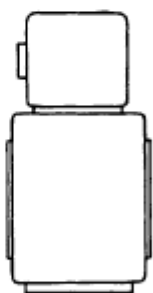
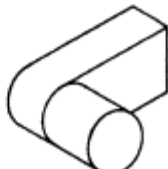
-препознатљив, одређен и приступачан.

Добар утисак о производу стварају његове особине као што су лакоћа, компактност, стабилност као и облик, боја итд. Конструктор треба да одабере препознатљив израз који посматрачу тј. потенцијалном кориснику ствара утисак нпр. да је производ лаган, стабилан и компактан.

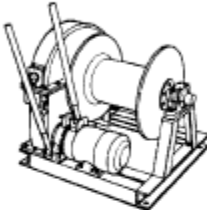
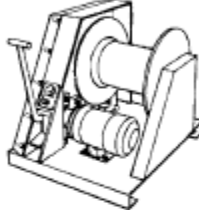
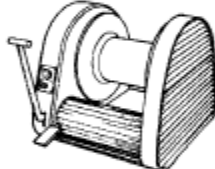
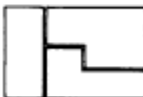
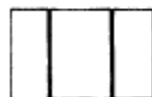
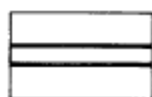
Укупну структуру треба да чине препознатљиви облици као нпр. L-облик или С-облик. Области треба јасно разграничити идентичним или сличним елементима. Треба унифицирати облик смањењем варијација облика и положаја. Формирати облик спајањем неколико линија у једној тачки или постављањем линија паралелно. Боје треба прилагодити форми. Смањити разлику у боји и материјалу. При одабиру боја изабрати једну основну са сличним комплементарним бојама. За контраст треба користити црну и белу, нпр. користи се црна као контраст жутој, бела као контраст црвеној, зеленој, плавој итд.

Смернице	Погрешно	Исправно
Прилагодити боју форми		 Функционална површина
Смањити разлике у бојама и материјалу		
Одабрати једну главну боју подржану комплементарним бојама		

Слика 30. Естетске смернице за одабир боје

Одабир израза	Погрешно	Исправно
Обезбедити јединствен и препознатљив израз	Вертикални трофазни мотор  Нестабилан, тежак	 Стабилан, компактан
	Пегла:  Тешка	 Лагана, лака за руковање
Структура укупне форме		
Препознатљива структура	Вакумска пумпа  Непрепознатљив	 Кутијаст облик
	Уређај за управљање  Непрепознатљив	 Јасан L-облик
Поделити у јасно раздвојене области		

Слика 31.Смернице за естетско конструисање: израз и структура

Смернице	Погрешно	Исправно
Унификовати форму		
Смањити број различитих облика	Генератор 	
	Витло са ужетом 	Отворена структура  Затворена структура 
Усмеравати ка сличним формама и контурама	Лежиште 	
Прилагодите линије	Клима уређај  Збуњујуће, нехомогено	 Облик коцке  Облик омотача

Слика 32. Естетске смернице за формирање облика

5.4 Обликовање с обзиром на рециклажу

Да бисмо уштедели и поново употребили материјал треба узети у обзир следеће могућности:

- смањење количине материјала кроз боље искоришћење смањењем отпада при производњи,
- замена материјала који су ретки и скупи,
- поновна употреба материјала или рециклажа отпада, истрошених производа или делова.

Рециклажа отпада подразумева поновну употребу материјала који је био коришћен за израду техничких система.

Рециклажа производа подразумева поновну употребу производа или бар дела, нпр. поновно коришћење мотора аутомобила.

Рециклиран материјал не мора имати нижи квалитет од новог материјала, а када значајно изгуби особине онда може бити употребљен само у друге сврхе. Поновна употреба подразумева да предмет задржи облик кад год је то могуће. Постоје два начина поновне употребе. Прва је да се цилиндар користи по својој првобитној намени а друга је да се истрошена гума користи нпр. као браник за брод.

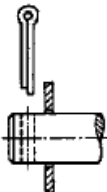
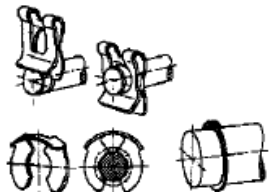
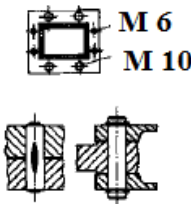
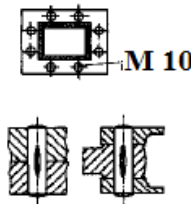
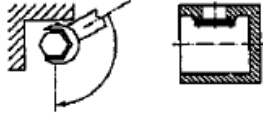
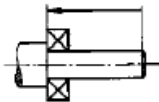
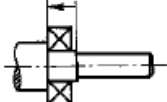
Основни материјал		Адитив												
	Важни синтетички материјали	PE	PVC	PS	PC	PP	PA	POM	SAN	ABS	PBTP	PETP	PMMA	
	PE	●	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	● Одговара ● Делимично одговара ● Одговара у малим количинама ○ Не одговара
	PVC	○	●	○	○	○	○	○	●	●	○	○	●	
	PS	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	PC	○	○	○	●	○	○	○	●	●	●	●	●	
	PP	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	
	PA	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	
	POM	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	
	SAN	○	●	○	●	○	○	○	●	●	○	○	●	
	ABS	○	○	○	●	○	○	○	○	●	○	○	●	
	PBTP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	
	PETP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	○	
PMMA	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●		

Слика 33. Табела за компатибилност пластичних материјала[2]

Постоје две врсте прераде. Прва, материјал ће се користити у истом процесу, нпр. прерађује шкољку аутомобила за поновну употребу у ауто индустрији, а друга је спремање за другу намену, нпр. прерада пластике у нафту. Веома је тешко направити производ од само једног материјала. Код производа који представљају недељиве јединице треба употребљавати материјале који су компатибилни по питању прераде.

О овоме нарочито треба водити рачуна када је у питању серијска производња и када се ради о материјалу који је неопходно рециклирати. На слици 32. је приказана компатибилност најпознатијих врста пластике.

Када је немогуће користити материјале који су компатибилни за прераду треба конструкторским решењем предвидети могућност сепарације. Са аспекта демонтаже конструктор треба да предвиди да се демонтажа може извршити једноставним алатима, да процес може да буде аутоматизован и да радници не морају да буду високо квалификовани. Вредни и ретки материјали треба да имају такву позицију да се једноставно могу уклонити.

Смернице за демонтажу	Погрешно	Добро
Користити елементе које је лако демонтирати или уклонити чак и после дугог радног века		
Смањити број веза		
Користити исте елементе за везу		
Обезбедити адекватан приступ алатима за демонтажу		
Користити једноставне стандардне алате		
Избегавати дуге путање при демонтажи		

Слика 34. Смернице за обликовање делова ради лакше демонтаже

5.5 Обликовање с обзиром на ергономију

Ергономија се бави карактеристикама, могућностима и потребама људи и интеракцијом између људи и техничких производа. Познавање ергономије је битна ставка за формирање конструкције зато што[2]:

-прилагођава техничке производе људима,

-упарује људе са производима или активностима селекцијом заснованом на образовању и искуству.

Полазна тачка је човек који је оператер или корисник. Зато је корисно бавити се биомеханичким, физиолошким и психолошким проблемима које технички производи могу изазвати код људи.

Биомеханички проблеми

За коришћење и употребу сваког производа потребни су специфични положаји тела и покрети. Они зависе од конструкције техничког система (нпр. положаји команди) и димензија тела корисника. Ови односи су поједностављено представљени сликом где је дат предлог како кабина камиона треба да буде уређена да би одговарала кориснику тј. возачу(слика 35.).

Физиолошки проблеми

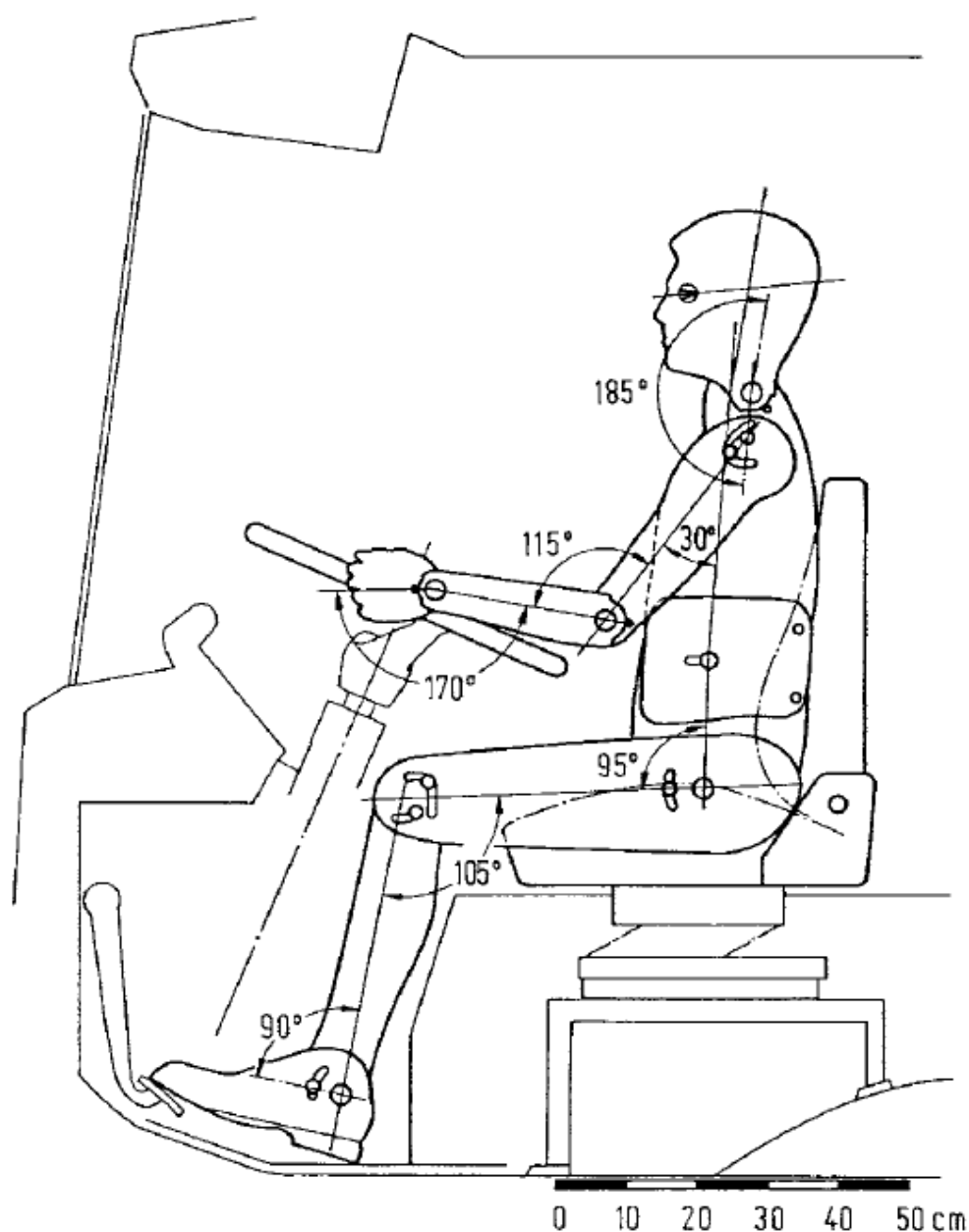
Положаји тела и радње које човек извршава захтевају одређена напрезања мишића. За напрезање као нпр. подизање терета потребно је да крвни систем снабдева мишиће а пошто је крвни систем ограничен опоравак мишића је успорен, одакле се види да човек само кратко време може извршавати такву операцију. Са ергономске тачке гледишта, важно је направити разлику између оптерећења, напрезања и умора. Оптерећења су спољни утицаји. Оптерећења производе напрезања која су у вези са индивидуалним карактеристикама, као што су старост, пол, кондиција, здравље и обука. Резултат напрезања је умор, који зависи од интензитета и трајања напрезања. Опоравак се постиже одмором. С обзиром на то да је нормална људска температура од 36 °C до 38 °C конструкција машине и радних услова мора да предвиђа климатизацију или одговарајуће паузе.

Психолошки проблеми

Процес реаговања, одлучивања и деловања се обично одвија неометано. Неопходно је да упутства дата оператеру или кориснику која су дата у приручницима буду јасна. Добро конструисан производ треба да смањи на минимум време потребно за

размишљање о поступку а да омогући оператеру да се усресреди на извршавање задатка. Однос између задавања контроле и одговора треба да буде једноставан. Перцепција и размишљање се фокусирају на актуалне акције. Учење се дефинише као успешно извршавање задатака и стицање знања за касније.

Претерано коришћење капацитета и оптерећење људи могу имати негативан утицај на мотивацију и понашање. Свака планирана активност треба да остави места за одмор.



Слика 35. Препоруке за конструисање кабине радног возила са аспекта ергономије

5.6 Обликовање с обзиром на одржавање

Технички системи и производи су подложни хабању, смањењу радног века, корозији, контаминацији и променама особина материјала. После одређеног времена, било да је у употреби или не, стање система неће бити исто. Одступање од задатих услова не може увек бити препознато и може изазвати промене перформанси и опасне ситуације. Ово може значајно смањити функционалност, економичност и безбедност система. Непроверавање система пре него што дође до квара може изазвати повреду човека а и тај начин је неприхватљив са људске и економске тачке гледишта.

Пошто технички системи постају све сложенији примена одржавања као превентивне мере постаје све значајнија. Конструктори имају велики утицај на цену одржавања и процедуре које се могу примењивати.

Одржавање је повезано са безбедношћу, ергономијом и монтажом. Према стандардима, одржавање укључује праћење и процену стварног стања система и његов опоравак. Могуће мере су:

- сервис, одржавање планираног стања,
- инспекција, праћење и процењивање стварног стања,
- поправка да поврати планирано стање.

Врста, обим и трајање сервисирања и мере инспекције зависе од типа система, његове функције, доступности и потенцијалне опасности. Изабране мере одређују када треба извршити проверу нпр. после одређеног времена, неког броја радних сати или после неког интензитета оптерећења. План одржавања је зависи од стања компоненти, нпр. хабање знатно скраћује радни век производа. Поступци опоравка система се врше пре него што дође до квара. Разликују се две врсте поправки:

-Поправка после квара компоненте. Ова врста се често примењује када је немогуће предвидети квар. Веома је важно да квар не изазове опасност.

-Превентивна поправка која се изводи пре квара компоненте. Ради се или због унапред одређеног сервисног интервала или због стања у коме се налази. Интервал може бити дефинисан као одређени временски период, неко растојање или број операција. На пример мотор неког друмског возила се сервисира после 10000 километара.

Према неким ауторима техничко решење треба да има неколико превентивних мера, нпр. употреба компонената које имају сличан радни век што значајно умањује потребу за сервисирањем.

За конструктора су битни следећи циљеви:

- спречити оштећења и повећати поузданост,
- избегавати грешке приликом расклапања, укључивања итд.,
- поједноставити процедуру за сервисирање,

-уредити тако да резултати одржавања буду јасни,

-поједноставити процедуре провере.

Мере одржавања се углавном заснивају на замени дотрајалих делова, подмазивању, конзервирању и чишћењу.

Техничке мере које могу да смање потребу за одржавањем а које треба разматрати још у фази конципирања су:

-стављати само-балансирајућа решења,

-инсистирати на једноставности и што мање делова,

-користити стандардне компоненте,

-омогућити лак приступ,

-обезбедити лаку демонтажу,

-користити принцип модуларне градње,

-за одржавање предвидети мали број алата који су слични по конструкцији.

Да би се олакшало извршавање одржавања, инспекције и поправке, следећа ергономска правила, подржана од стране одговарајућих техничких решења, треба да се примене:

-место поправке треба да буде лако доступно,

-радна средина треба да задовољи безбедносне и ергономске услове,

-обезбедити да место буде видљиво,

-оштећење треба локализовати,

-замена компонената треба да буде лака.

Закључак је да одржавање треба да буде део укупног концепта. Процедура одржавања мора бити у складу са функционалним и оперативним ограничењима техничког система, и морају бити укључени у укупне трошкове, заједно са трошковима куповине и оперативним трошковима.

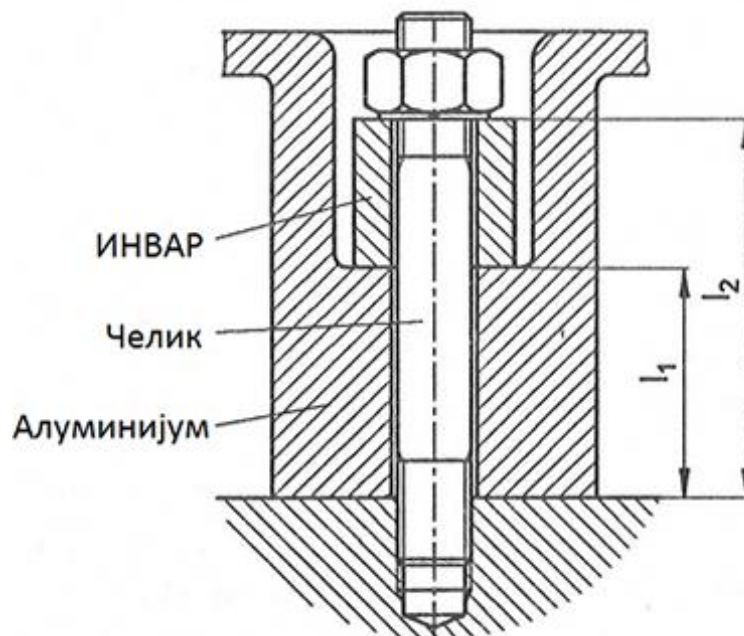
6. Остали утицаји на формирање конструкције

Поред претходно разматраних, на формирање конструкције утиче велики број других фактора који зависе од услова експлоатације и особина конструкције. Неки од ових фактора су дефинисани у листи захтева за формирање конструкција. Овде ће укратко бити описани најважнији утицаји, односно они који се најчешће јављају.

6.1 Утицај температуре

Машинске конструкције често раде на различитим температурама, које се мењају услед метеоролошких услова, самог процеса који обавља конструкција (топлотне машине), трења, итд. Промена температуре изазива, у зависности од материјала, мање или веће промене димензија делова, а у екстремним случајевима може изазвати и промену структурних или механичких особина материјала. Утицај температуре се може смањити или потпуно елиминисати уклањањем извора топлоте, термичком изолацијом, додатним хлађењем или загревањем итд[1].

Промена димензија услед температурских промена посебно долази до изражаја код склопова у којима се налази више повезаних делова од различитих материјала или у случајевима делова изложених различитим температурским променама. Тако се, на пример, може изазвати промена карактера налегања (преклопа и зазора), додатне деформације или напони итд. Утицај промене димензија се може компензовати правилним распоредом делова, избором одговарајућим димензија, облика и материјала делова (слика 36.).



Слика 36. Компензација утицаја температуре

На слици 36. је приказана веза алуминијумске прирубнице која се остварује челичним завртњем. Пошто алуминијум има већи коефицијент линеарног ширења од челика, загревање прирубнице би изазвало додатно напрезање завртња и прирубнице. Због тога је постављена чаура од ИНВАР челика са коефицијентом ширења блиском нули, чиме се остварује да промене дужина l_1 и l_2 буду приближно једнаке.

Материјали који се користе у техничким системима имају тенденцију да се шире када се температура повећа. Настали проблеми морају бити узети у обзир, не само у конструисању термо уређаја у којима се очекују више температуре већ и у осталим системима као нпр. моторима високих перформанси или уређајима у којим се јавља повећање температуре услед трења па је хлађење неопходно. Услед загревања доћи ће до промене у неколико области. Уређај ће радити нормално само ако су одступања услед ширења у границама које је конструктор предвидео. Осим ширења услед повећања температуре конструктори морају да размотре механичко ширење делова услед деловања великог оптерећења.

Ширење је било предмет посебних истраживања. За чврста тела, коефицијент линеарног ширења је:

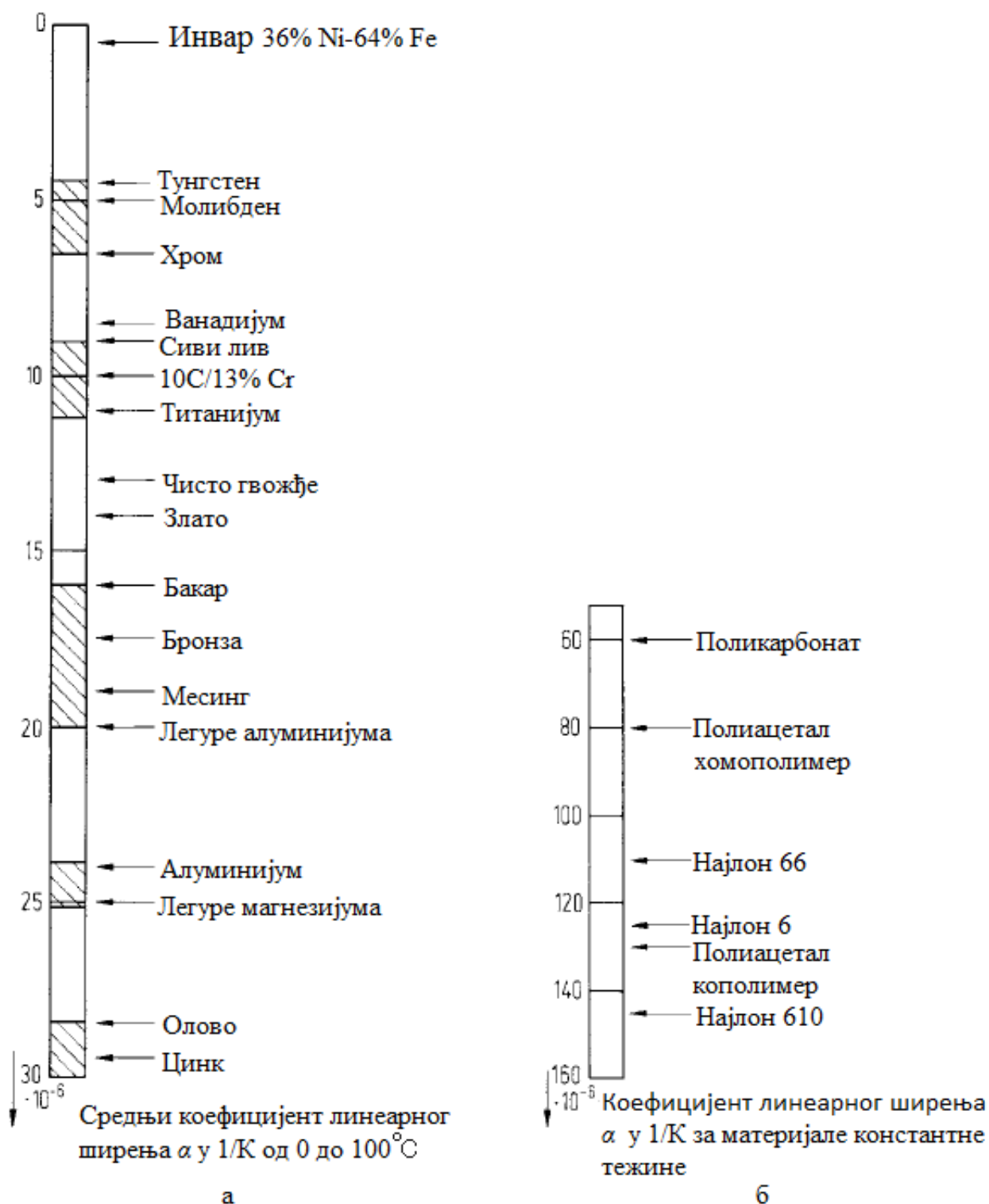
$$\alpha = \Delta l / (l \cdot \Delta \vartheta_m) \quad [2]$$

где је Δl промена дужине услед пораста температуре $\Delta \vartheta_m$, l разматрана дужина и $\Delta \vartheta_m$ средња разлика температуре којој је тело изложено.

Коефицијент линеарног ширења дефинише ширење чврстог тела дуж једне координатне осе, док кубни коефицијент ширења дефинише у односу промену запремине по степену раста температуре. За хомогено тело овај коефицијент је три пута већи него коефицијент линеарног ширења. Коефицијенте експанзије треба схватити као средње вредности у одређеном температурском опсегу. Зависе од материјала и од температуре, на вишим температурама коефицијенти обично расту.

Слика 37. приказује коефицијенте линеарног ширења за различите групе материјала које конструктори користе. Види се да се најчешће користе комбинације метала као нпр. сиви лив са бронзом или алуминијумом. Мора се обратити пажња на релативно ширење због тога што постоје значајне разлике коефицијената топлотног ширења. Када се ради о већим димензијама чак и мала разлика коефицијената нпр. између 35C угљеничног челика и челика са садржајем хрома (10C/13% Cr) може да изазове озбиљне проблеме.

Метали са ниском тачком топљења, као што су алуминијум и магнезијум, имају веће коефицијенте топлотног ширења од метала са високом тачком топљења, као што су волфрам, молибден и хром. Легуре никла имају различите коефицијенте топлотног ширења у зависности од њиховог садржаја никла. Материјал који садржи 36% Ni – 64% Fe се назива 'ИНВАР' и има најнижи коефицијент. Синтетички материјали имају значајно веће коефицијенте ширења од метала.



Слика 37. Средњи коефицијенти линеарног ширења а) метали б) синтетички материјали

Ширење компоненти

У случају сталног ширења, физичке величине од којих ширење компоненти зависи добијају се из основних једначина:

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta \vartheta_m ;$$

$$\Delta \vartheta_m = \frac{1}{l} \int_0^1 \Delta \vartheta(x) dx ;$$

Промена у дужини Δl зависи од:

- коэффициента линеарног ширења α ,
- дужине компоненте l ,
- средња промена температуре на овој дужини $\Delta \vartheta_m$.

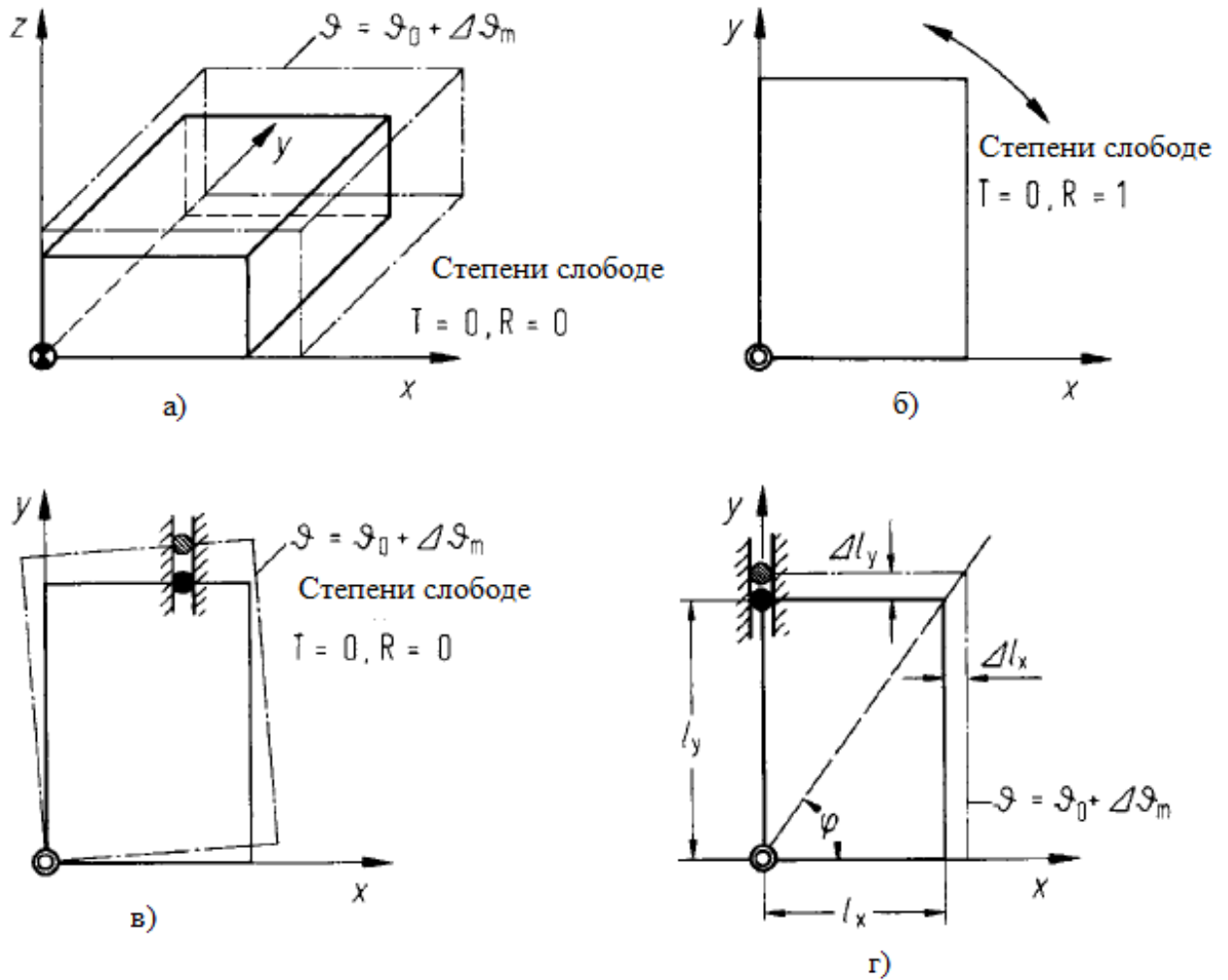
Овако добијена вредност има утицај на формирање конструкције: свака компонента мора бити јасно и прецизно постављена и може имати само онолико степени слободе колико је неопходно.

На слици 38.а је приказано непокретно тело без степени слободе. Слика 38.б приказује тело које може да ротира око осе Z и има један степен слободе. Под 38.в је приказана плоча која ће ротирати око осе Z уколико дође до топлотног ширења. Уградњом клизача у правцу једне од оса могуће је избећи ротацију дела(слика 38.г).

Након топлотног ширења сличност ће важити само ако буде задовољено:

- коэффициент топлотног ширења мора бити једнак у свим деловима(изотропан), ако је материјал исти и ако разлике температуре нису превелике,
- топлотна особина ε мора дуж оса x, y, z бити такав да:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_z = \alpha \cdot \Delta \vartheta_m.$$



Слика 38. Ширење услед стабилне расподеле температуре

Ако је α константна кроз целу компоненту, пораст средње температуре мора бити исти за све три осе тако да имамо[4]:

$$\Delta l_x = l_x \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta_m;$$

$$\Delta l_y = l_y \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta_m;$$

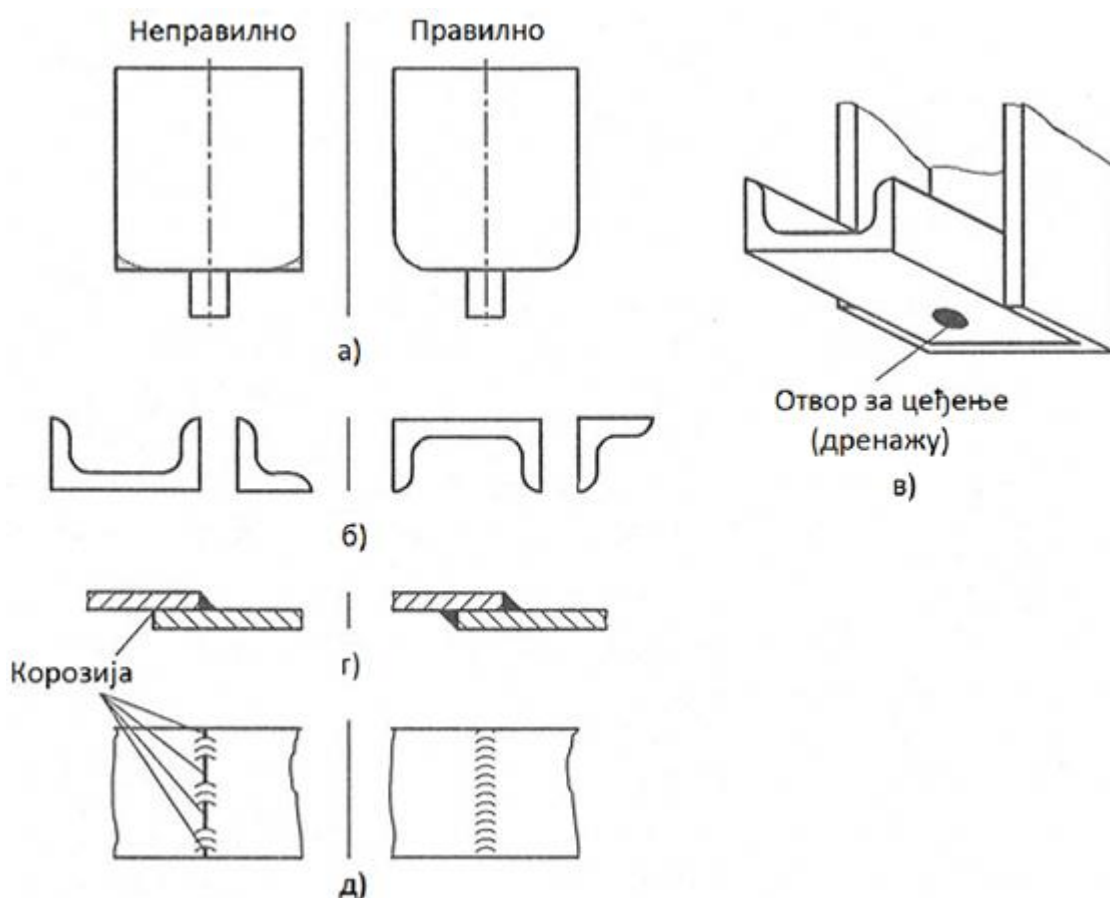
$$\Delta l_z = l_z \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta_m;$$

и за осе X и Y важи $\tan \varphi = \frac{\Delta l_y}{\Delta l_x} = \frac{l_y}{l_x} \cdot$

6.2 Утицај корозије

Корозија настаје услед деловања влаге и електролита у присуству кисеоника из ваздуха. Корозија изазива оштећења материјала која могу довести до ломова и хаварија или неправилног функционисања компонената. Утицај корозије се може смањити или чак елиминисати применом материјала отпорних на корозију, заштитом површина(бојењем), избором погодних конструкционих решења, итд[1].

На слици је приказано неколико примера правилног конструисања с обзиром на заштиту од корозије. На слици 39. под а), б), в) су приказана решења којима се избегава задржавање влаге, а под г) и д) спречавање корозије код заварених спојева.



Слика 39. Примери конструкционих решења за спречавање корозије

6.2.1 Конструкционе мере за сузбијање корозије

Покретање многих корозионих процеса могуће је онемогућити или барем успорити правилним обликовањем челичних конструкција, разним пројектним решењима и технологијом израде. Овим мерама може се знатно утицати првенствено на корозију у процепу, галванску корозију, ерозијску и напонску корозију.

Код конструисања је препоручљиво придржавати се следећих смерница:

- заварени спојеви, ако су добро изведени, имају првенство у односу на навојне спојеве или закивке код којих је честа појава корозије у процепу,

- конструкцију треба обликовати тако да се на њој не задржава вода, односно треба осигурати отицање воде,

- код конструкције треба бирати материјале који су корозијски што отпорнији у предвиђеним условима. Материјали за заштитке, паковање, топлотну, електричну и звучну изолацију не смеју да садрже агресивне супстанце и не смеју да апсорбују воду, резервоари и др. требају се тако конструисати да се лако празне и чисте,

- пројектним решењима обезбедити једноставно, ефикасно и јефтино одржавање,

- обезбедити да се компоненте у систему код којих се очекује бржа корозија могу лако и једноставно заменити,

- избегавати механичка напрезања због смањења опасности од напонске корозије,

- избегавати оштре кривине у цевоводним системима ради смањења опасности од ерозијске корозије,

- избегавати додир различитих метала удаљених у галванском низу ради спречавања галванске корозије,

- избегавати локална интензивна загревања јер се корозија јако убрзава порастом температуре,

- избегавати контакт са агресивним честицама кад год је то могуће,

- избегавати сваку хетерогеност (локална напрезања, температурне разлике, места где се скупља влага и сл.).

Све наведене конструкционе мере треба користити што је могуће више у циљу успоравања корозијских процеса и продужавања века трајања конструкција, те постизање пројектоване корозијске постојаности.

Корозија у процепу је појавни облик корозије на који много можемо утицати конструкционим мерама. Јавља се у близини пукотина, процепа, размака између површина, испод наслага нечистоћа, на местима где се дуго задржава агресивна течност итд. Може бити иницирана корозионом средином у пукотини иако је околна површина сува. Ако се конструкција налази у раствору, онда се као резултат електрохемијске реакције у унутрашњем делу пукотине мењају услови (расте киселост, пада рН вредност, повећава се концентрација агресивних фактора). Услед тога

унутрашњи део процепа постаје анода, а на спољном делу се одвија катодна реакција. Приликом заваривања конструкција врло се лако стварају предуслови за развој овог облика корозије, па је потребно припазити на правилну припрему и одабир споја и да се само заваривање изведе без грешке. Предуслови за развој корозије у процепу могу бити и непроварени корен зава, наштрцане металне капљице, погрешан избор подлога за заваривање итд. Да бисмо смањили могућност појаве корозије у процепу потребно је изводити континуиране и правилно протаљене заваре (посебно коренски део) и дати предност сучеоним спојевима над преклопним. Код израде машинских конструкција употребљавају се разни профили као основни конструкциони елементи. Профиле је потребно поставити тако да се омогући отицање воде и отицање наслага нечистоћа испод којих се накопља влага стварајући идеалне услове за настанак корозије. Наслаге ће мање настајати ако се избегавају оштри рубови. Често се на основне профиле стављају разна укрућења ради повећања чврстоће и носивости. Укрућења треба изводити тако да се омогући отицање воде јер са становишта заштите од корозије задржавањем воде стварамо идеалне услове за иницирање почетка корозије. Вода и влага се могу задржавати и испод материјала који апсорбују воду, а употребљавају се за паковање и заптивање, па је потребно и о томе водити рачуна. Код стопа носача треба избегавати употребу ребара и користити друге облике ојачања (нпр дебљу таблу). Код резервоара за течности треба водити рачуна о правилном постављању отвора за истицање. Треба избегавати оштре углове где се накопљају нечистоће и обликовати резервоаре да се без тешкоћа могу потпуно испразнити. Када је приликом израде конструкције немогуће избећи процеп, потребно га је 'отворити', односно оставити довољан размак између делова да агресивна супстанца може слободно да отиче.

Галванска корозија се јавља када код израде конструкција није могуће користити све делове израђене од истог материјала. Тада услед контакта материјала који имају различити корозијски потенцијал долази до појаве галванске корозије. Када су у неком електролиту у контакту два метала различитих корозионих потенцијала, више ће кородирати материјал са вишим корозионим потенцијалом. Код тог процеса више отпоран материјал је катода, а мање отпоран материјал који се брже троши је анода. Због свега тога потребно је спречити међусобни контакт два метала различитих потенцијала. То се спроводи коришћењем разних изолационих материјала и превлака које спречавају непосредни додир. Када је средина изузетно агресивна или су присутне високе температуре коришћење такве изолације често није могуће јер би била уништена. Код таквих случајева треба користити племенитији метал за спајање делова мање племенитог метала. При томе је потребно јако пазити на правилан однос анодне и катодне плоче у галванском пару. Анодно подручје треба бити пуно веће од катодног, па је на тај начин могуће спајати и 'неспојиве' материјале са корозионог аспекта, без угрожавања корозионе постојаности. Код одвајања материјала превлакама потребно је придржавати се правила да се никада не сме употребити превлака само на аноди, или се превлачи анода и катода или само катода.

Ерозиона корозија укључује истовремено деловање ерозије и корозије при високим брзинама струјања флуида. До ерозионог трошења долази код трења чврстог тела и покретног флуида, нарочито ако се у флуиду налазе тврде честице. Што је већа брзина струјања флуида, то су и већа корозиона оштећења. Овај облик појаве корозије можемо спречити на више начина. Код цевовода треба избегавати нагла закривљења и промену смера струјања флуида. Треба предвидети филтере и филтрирањем максимално уклонити присутност тврдих честица. Треба избегавати интермитентни рад јер код прекида долази до таложјења нечистоћа и наслага које код поновног пуштања у рад изазивају локалне порасте брзине кретања супстанце. Када се очекује таложјење наслага потребно је пројектовати код цевовода отворе кроз које се током одржавања могу те нечистоће уклонити. Цевни огранци се не смеју гранати под углом од 90° , већ под углом $30-60^\circ$, те рубови не смеју штрчити у струји супстанце и ометати проток. Скретање цеви треба изводити с благим заобљењем, а промена пресека не сме бити нагла и скоковита, већ је је потребно извести континуирано. Код процеса где је висока брзина струјања флуида потребно је користити заштитне плоче за ублажавање удара јер би интензивни удар флуида на незаштићеном подручју изазвао корозиона оштећења.

Напонска корозија узрокује разарање метала које настаје као последица статичког напрезања делова конструкција у корозијски агресивној средини при повишеној температури.

За јављање овог типа корозије потребни услови који треба да буду испуњени су:

- присутност напона узрокованог заосталим или радним напрезањем,
- присуство хлорида или кисеоника у средини и
- минимална температура од 60°C испод које се не јавља напонска корозија (осим у јако киселом раствору).

На овај тип корозије нарочито су осетљиви аустенитни Cr-Ni челик који се накнадно хладно обликују и она представља велик проблем у петрохемијској индустрији. Код пројектовања технологије израде потребно је обратити пажњу на елиминисање у највећој могућој мери места локалних напрезања због крутости и облика конструкције. Заостала напрезања се јављају и приликом заваривања, па је и на то потребно обратити посебну пажњу. Кад је конструкција изложена агресивној средини која садржи хлориде, пукотине напонске корозије појављују се најчешће у ЗУТ-у. Испупчани облик заваза уопштено има мању склоност појави пукотина од удубљеног, па заваре првенствено код сучеоних спојева треба изводити са ужим и испупчаним слојевима, а не са широким и удубљеним.

Што се тиче услова настанка напонске корозије у погледу присутности хлорида и температуре изнад 60°C , они се у пракси често и не морају потпуно испунити него се други везани узроци појављују као иницијација настанка оштећења напонском корозијом. Пример за то су и хаварије кровних конструкција базена са слатком водом

где на први поглед и немамо високо хлороводонична једињења, али се због утицаја испаравања повећавала концентрација хлорида и настајала су оштећења која су била катастрофална.

6.2.2 Заштита одабиром корозијски постојаних материјала

При пројектовању неког објекта, без обзира да ли производног (фабрика), транспортера (брод или авион), грађевине (зграда или мост) или другог типа или намене, потребно је узети у обзир све факторе од којих ће зависити његова трајност и употребна вредност. Објекат треба током предвиђеног времена коришћења задржати своја физичка и хемијска својства. Једноставније речено, објекат током предвиђеног трајања не сме мењати своја употребна својства више него што је предвиђено пројектом. До смањења увек долази, али при пројектовању треба користити материјале и конструкциона решења којима ће се обезбедити његова технолошка употребљивост и економска оправданост. Применом корозијски постојаних материјала настоји се смањити афинитет за настајање корозије. Избор одговарајућег материјала зависи од низа фактора, као што су: механичка својства, очекивани век трајања, естетски изглед, корозијска постојаност и цена.

Најчешће примењивани корозионо постојани материјали који се користе код машинских конструкција су:

-полимерни материјали и њихови композити, титан и његове легуре, алуминијум и његове легуре – нпр. технички чисти Al, Al-Mg, Al-Mn, Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si, Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu, бакар и његове легуре, никл и његове легуре - Ni-Cu (Монел), Ni-Mo (Хастелои), племенити метали или легуре - Ag, Au, Pt, Zr, Ta, високолегирани племенити челици, аустенитно-мартензитни, ливови, порцелан, стакло, бетон, емајл, техничка керамика, графитни (угљен материјали).

Релативна отпорност на корозију неких незаштићених материјала зависно од атмосфере у којој се конструкција налази током експлоатације приказана је у табели 2.

Табела 2. Оцене отпорности на корозију неких незаштићених материјала;

Врста материјала	Индустријска атмосфера	Слатка вода	Морска вода	H ₂ SO ₄ (5...15%)	База(8 %)
Нискоугљенични челик	1	1	1	1	5
Галвански челик	4	2	4	1	1
Сиви лив	4	1	1	1	4
Челик 4..6 % Cr	3	3	3	1	4
18 % Cr и 8 % Ni нерђајући челик	5	5	4	2	5
18 % Cr и 35 % Ni нерђајући челик	5	5	4	4	4
Монел (70% Ni и 30 % Cu)	4	5	5	4	5
Никал	4	5	5	4	5
Бакар	4	4	4	3	3
(85% Cu 15% Zn)	4	3	4	3	1
Al-bronza	4	4	4	3	3
Ново сребро (65%Cu, 18%Ni, 17%Zn)	4	4	4	4	4
Алуминијум	4	2	1	3	1
Al-Cu легура	3	1	1	2	1

1=слаба-брз напад, 2=осредња-привремена употреба, 3=добра-умерено коришћење, 4=врло добра-поуздано коришћење, 5=изврсна-неограничено коришћење

6.3 Утицај трења и хабања

Трење се јавља као отпор релативном кретању компонената у контакту. Изазива губитке енергије, загревање делова, итд. Хабање представља одношење материјала услед трења. Велико хабање може изазвати ломове или нарушавање функције машинског дела.

Негативни утицаји трења и хабања се могу умањити смањењем броја елемената који се релативно крећу, смањењем оптерећања и брзина релативног кретања, избором материјала(антифрикционих),превођењем трења клизања у трење котрљања(котрљајни лежајеви), одговарајућим подмазивањем, итд. У неким случајевима трење се може користити за извршење функција, као на пример код кочења.

Главне последице хабања су скраћење радног века и губици у преносу. У следећем делу ће бити описани најчешћи механизми хабања.

Адхезионо хабање

Адхезионо хабање је узроковано великим оптерећењем између две покретне површине које доводи до стварања микро варова (локалних атомских веза) који се стално прекидају услед релативног кретања површина. То доводи до површинског оштећења и хабања. Адхезивно хабање се може избећи употребом мазива која у свом саставу имају EP и AW адитиве и наравно одговарајућу вредност вискозитета.

Смањење интензитета хабања овог вида обезбеђује се:

- смањењем оптерећења, радне брзине и температуре,
- уградњом система за хлађење уља,
- коришћењем превлака као што су фосфати и др,
- коришћењем вискознијег уља како би се обезбедило раздвајање површина у контакту.

Абразивно хабање

Абразивно хабање је облик одстрањивања материјала са површина у контакту као последице задирања неравнина површине веће тврдоће или чврстих делића разног порекла у површину мање тврдоће. Делићи материјала могу бити слободни и понашати се као треће тело, али и утиснути у једну или обе површине. Они могу настати или унутар самог трибомеханичког система као резултат процеса хабања површина или се могу унети средством за подмазивање.

Трибо-хемијско хабање

Трибо-хемијско хабање је узроковано хемијском реакцијом између две компоненте укључујући елементе мазива и / или околине активираних услед појаве трења (пораст температуре). Ефекти су површинске промене, као што су тврђе зоне или честице настале хабањем. Оне касније поново повећавају хабање.

Конструисање са циљем да се смањи утицај хабања укључује примену триболошких мера (систем: материјал, радна геометрија, површина, мазива / течности) или применом сродних материјала тако да смањи трење између оптерећених компоненти које се релативно крећу.

Први корак је покушај да се избегну узроци одређеног механизма хабања (примарне мере). На пример, применом триболошких мера предвидети течно мазиво између површина у покрету и тако спречити суво или мешовито хабање.

Када примарне мере за отклањање хабања нису могуће онда се примењују секундарне мере да смање интензитет хабања.

Да би се смањио интензитет хабања количина енергије због трења по јединици површине $p \cdot v_r \cdot \mu$ треба да буде смањена смањивањем притиска p , релативне брзине v_R , и коефицијента трења μ .

Коефицијент хабања се дефинише као:

$$\text{коефицијент хабања} = \frac{\text{клизно померање } x \text{ обим хабања}}{\text{нормална сила}}$$

Када се хабање не може избећи, следеће мере се могу применити:

- филтером се отклањају честице из течног флуида да бисмо избегли нагомилавање честица и повећање хабања,

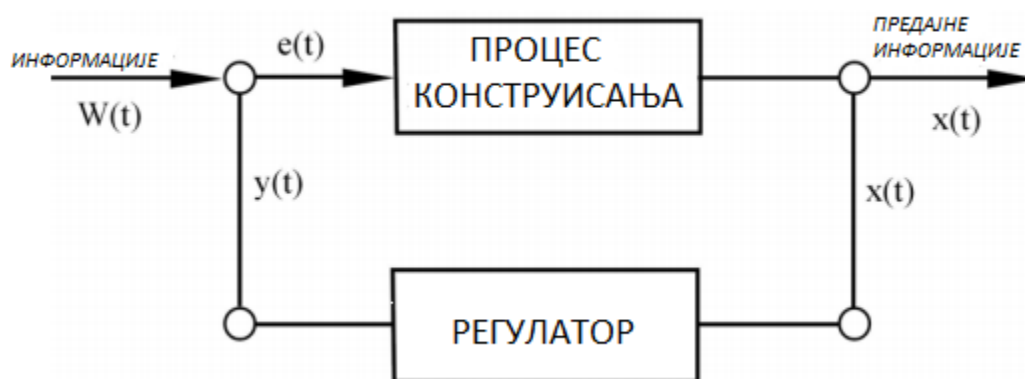
- за радне површине које могу бити изложене хабању треба предвидети лаку и јефтину замену или да буду израђени од материјала отпорног на хабање,

- мерити показатеље степена хабања да би се обезбедио безбедан рад и благовремено одржавање.

6.3.1 Триболошки исправно конструисање

Конструисање се у најширем смислу може дефинисати као интелектуални подухват предузет за задовољавање одређених потреба на најбољи могући начин. Истовремено, конструисање је једна од техничких активности присутна у свим областима људског живота, чврсто ослоњена на открића и законе науке, усмерена на стварање услова за примену тих закона на развој и реализацију прозвода. Конструисање као веома сложен процес може се разматрати са више аспеката и у више узајамно повезаних различитих равни: равни психолошког приступа, равни оптимизације, равни обраде и трансформисања информација, равни организационог деловања, равни научног управљања, итд.

У кибернетском смислу, разматрање конструисања у равни управљања се може представити сликом 40. Под појмом управљање, у општем смислу, подразумева се скуп тренутних акција или акција унапред дефинисаних за одређени временски период које су усмерене на реализацију једног или више јасно дефинисаних циљева. Систем управљања је затворен и зато одговара блок-дијаграму регулационог процеса у коме је управљачки део замењен регулатором. Процес конструисања је процес регулисања, а регулатор садржи читав скуп тренутних акција и могућности усмерених ка добијању унапред дефинисаних циљева конструисања.



Слика 40. Конструисање као управљачко-регулациони систем[6]

Референтни спољашњи улаз $[W(t)]$ је скуп информација (пројектни задатак, литература, стандарди, експериментални резултати, прорачуни). Управљачки сигнал или управљачка акција $e(t)$ је скуп систематизованих информација, генералисан претходно скупљеним информацијама[6].

Илазни сигнал су предајне информације (дефинитивне скице, цртежи, табеле, упуства). Регулисање процеса конструисања и итерационо власништво конструисањасе постижу сигналом повратне спреге $y(t)$. Илазни сигнал у виду предајних информација потпуно дефинише све потребе за успешну реализацију новог производа. Ваља напоменути да овако представљање процеса конструисања припада систему управљања према оптималном циљу, односно врши се оптимизација функције циља.

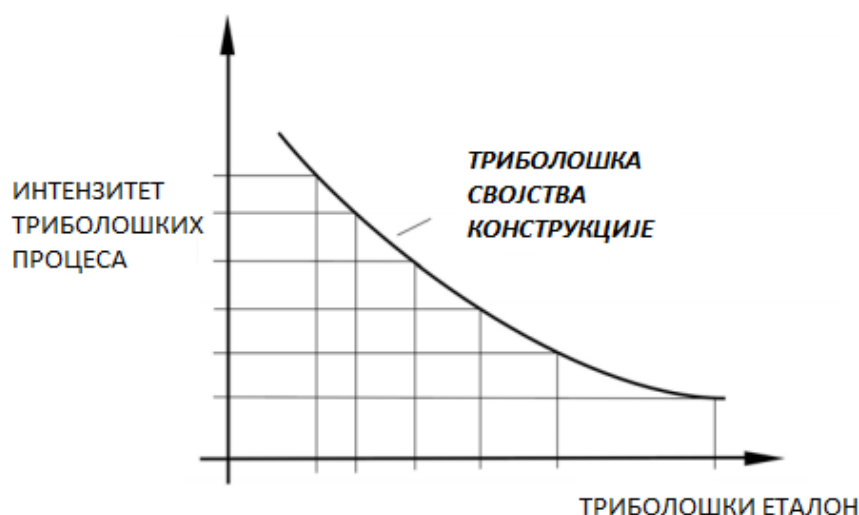
Конструкционо-технолошка документација као скуп предајних информација треба да омогући реализацију конструкције која садржи читав низ елементарних својстава: облик, димензије, функцију, материјал, ергономска својства, триболошка својства, естетска својства, технолоичност, економичност, итд.

Са аспекта триболошки исправног конструисања, посебно су значајна триболошка својства конструкције.

Триболошки исправна конструкција је значајан показатељ квалитета конструисања и техничког нивоа производа. Основне карактеристике овакве конструкције су минимизирање трења и хабања до границе могућег, уз истовремено повећање нивоа поузданости и продужење века трајања. Захтеви су веома сложени и често некомпатибилни са основним показатељима квалитета конструкције, али су и неопходни уколико желимо да приближимо век трајања веку функционалног старања конструкције.

Триболошки исправно конструисање подразумева регулисање(унапређење) триболошких својстава конструкције у циљу минимално могућег одступања процеса трења и хабања од унапред задатог триболошког еталона. Триболошки еталон је дефинисан унапред одређеном потребом стања триболошких процеса у носиоцима

елементарних функција конструкције. При томе су граничне вредности триболошког еталона минимално трење и хабање и природна тежња довођења одговарајућег одступања ка нули или супротно, повећање коефицијента трења као потребе подизања нивоа опште функционалности система (фрикциони преносници, каишни и ремени преносници и др).



Слика 41. Дијаграм зависности триболошких својстава конструкције од интензитета триболошких процеса

На слици 41. је приказан дијаграм зависности триболошких својстава конструкције од интензитета триболошких процеса и триболошког еталона. Што је интензитет трења и хабања мањи мања су и одступања триболошких својстава од граничне вредности триболошког еталона који се дефинише минималним трењем и хабањем[6].

6.4 Утицај вибрација и буке

Машински системи су често изложени динамичким(променљивим) оптерећењима која могу изазвати осциловање компонената или целог система. Ове осцилације могу изазвати додатна оптерећења, посебно у резонантној области, буку, вибрације које се преносе на околину, итд. Вибрације се могу смањити:

- смањењем побудних оптерећења,
- смањењем осетљивости на побуду и
- правилним ослањањем.

Вибрације машинског система(компонената) одређених карактеристика могу изазвати звучни талас(буку). Конструкционе мере за смањење буке су углавном исте као и за смањење вибрација, с тим што се у овом случају могу применити и индиректне технике заштите(звучна изолација).

Поред претходно наведених постоји још утицаја који се, у мањој или већој мери могу јавити код појединих машинских система.

Јака бука коју могу стварати машине, нарочито возила, делује непријатно и изазива психички замор и отупелост човека, смањује му радну способност, штетна је по његово здравље. Зато 'бешумне' машине или постројења увек имају предност. Борба против буке постаје све битнија због бриге за здравље оператера.

Бука потиче од трења клизања, котрљања, сударања елемената, вибрација, струјања, процеса сагоревања горива и др. и различито се испољава (као зујање, шкрипање, пуккетање, праскање, лупкање, шистање итд.).

За ублажавање буке конструктор има две могућности:

-или утицање на узроке буке, нпр. применом решења са издувним лонцима за моторе, подмазивањем и финијом обрадом клизних површина, применом материјала који пригушује буку (гума, пластичне масе), изменом концепције механизма машине,

-или изоловањем извора звука нпр. наћи конструкционо решење које предвиђа звучно изоловање делова машине или целе машине.

Смањење побуде је најефикаснији приступ за снижавање нивоа вибрација машинских система. Код спољне побуде тј. код поремећаја који настају у радним процесима, нема великих могућности да се процес учини мирнијим. Снижавање нивоа унутрашње побуде је знатно ефикаснији. Одступања мера и облика машинских делова, деформације делова и оштећења, су основни узрочници стварања побудних поремећаја.

Мере за смањење побуда су[3]:

-Повећање нивоа тачности односно смањење одступања делова се у значајној мери одражава на мирноћу рада, зупчаници са тачнијим обликом профила зупца и са мањим разликама корака стварају мање инерцијалне силе при обртању и мање ударе при улажењу зубаца у спрегу.

-Смањење деформација које доводе до стварања побудних сила које се може постићи повећањем крутости делова или избором таквих делова и димензија које ће допринети смањењу деформација. На пример лежаји и зупчаници изложени мањим оптерећењима у односу на њихову носивост, трпе мање деформације те су и побудне вибрације мање.

-Уравнотежење распореда маса, нарочито обртних, смањују се инерцијалне силе. Делови са транслаторним кретањем, полужни механизми и др. погодније да се крећу

равномерним брзинама, без великих убрзања и успорења која доводе до стварања инерцијалних сила.

Смањење осетљивости система на побуду се може остварити на више различитих начина, зависно од параметара конструкције, побуде и од могућности реализације изабраног решења. Осцилаторни систем је стабилнији ако је побуда слабија. Ако се побуда не може мењати, могу се делови система учинити масивнијим-инертнијим, крућим и слично. Такав систем је теже побудити, потребна је веће енергија.

Ослањање делова и машина у целини је значајно за преношење вибрација као побудних поремећаја са машина и склопова са изворима побуде на друге делове и околину и обрнуто. Потребно је пресећи пут простирања ових побуда ради заштите околине од вибрација затим ради заштите машина од спољних поремећаја и на крају ради заштите од повратних ударних таласа при чврстом ослањању јаким извора динамичких поремећаја.

Пресецање токова таласних кретања, односно спречавање преношења вибрација између појединих целина у машинама, остварује се помоћу посебних пригушних елемената. То су еластични делови са великим унутрашњим пригушењем. Ова својства имају неметални материјали као што су гума, бакелит, дрво, фибер и слично. Гума је најчешће у примени. Варијацијом тврдоће гуме подешава се модул еластичности и пригушење.

Закључак

Формирање конструкције је најважнији део процеса конструисања јер тада концепцијско решење добија технолошки, естетски и економично употребљив изглед. При формирању конструкције је веома корисно користити листу захтева за формирање конструкције која се развија на основу циљева и ограничења техничког задатка. Захтеви који су дефинисани у листи су међусобно повезани и коришћење листе осигурава да се ништа битно не изостави при формирању конструкције.

Одређивањем једнозначног и једноставног решења конструктор у фази формирања конструкције обезбеђује извршавање функција задатих у концепцијском решењу, прецизније једнозначним решењем обезбеђује тачно дефинисан однос између укупне функције, парцијалних и елементарних функција одређен структуром функција као и тачан однос улазних и излазних величина док једноставним решењем гарантује остваривање функције минималним бројем елемената. У процесу формирања конструкције поставља се темељ сигурности конструкције. Кроз категорије сигурност компоненти, функционална сигурност, сигурност руковаоца и сигурност околине обезбеђује се поузданост конструкције односно безбедност, извршавање жељених функција као и заштита животне средине.

Одређивање одговарајућих димензија је битан предуслов за извршавање жељених функција па је зато димензионисању посвећена посебна пажња. У овом раду је објашњено димензионисање на основу функције, где је теоретски и примером показано како су димензије делова машинских конструкција одређене функцијом коју оне извршавају. Димензионисања на основу потребне чврстоће и крутости су неопходна при изради неке конструкције па су стога илустроване одговарајућим сликама и адекватним прорачунима. За сваку модерну машинску конструкцију је поред оригиналности битно да задовољи одређена законска и економска ограничења које дато тржиште налаже па је при конструисању јако битно коришћење националних стандарда или интерних прописа. Описани поступци стандардизације, типизације, унификације, модуларног конструисања су препоручени за употребу при формирању конструкције ради подизања њене конкурентности.

У петој глави су описани поступци правилног обликовања конструкције. Облик конструкције који се одреди у фази формирања конструкције одређује улогу и особине од којих ће зависити успешност конструкције од почетка производног циклуса до краја њене експлоатације. Посебно је битно обликовање с обзиром на технологију израде које одређује правилан облик дела предвиђеног за обраду резањем, израдом ливењем, заваривањем или пластичним деформисањем. Ово обликовање је посебно важно због тога што су у оквиру њега дате препоруке за обликовање којима је могуће уштедети материјал или смањити број скувих операција нпр. обрадом резањем и на тај начин

смањити цену датог дела и учинити га конкурентнијим. У фази обликовања значајно место има обликовање с обзиром на монтажу и одржавање јер су ремонт и замена делова битан сегмент у остваривању предвиђеног радног века. С обзиром да је тржиште веома пробирљиво и да естетски леп изглед заузима битно место у одлучивању купца тј. корисника који ће производ купити обликовање с обзиром на естетику је јако битно за тржишни успех производа па је препорукама за естетско обликовање посвећено једно поглавље. Конструктор мора да предвиди ергономичан облик конструкције и облик погодан за рециклажу пошто рециклажа постаје све битнија у развијеном друштву због заштите животне средине.

У задњој глави је објашњен утицај спољних и инутрашњих фактора на постојаност конструкције. Такође су представљене конструкционе мере којима се сузбија утицај корозије, температуре, трења итд. Утицај бројних фактора треба или смањити или смањити њихов утицај ради правилног извршавања функције. Ширење услед промене температуре може имати негативне последице на конструкцију па је неопходно да конструктор тачно одреди границе ширења и материјале који могу да изврше функцију при предвиђеним условима. Посебно су објашњене конструкционе мере за сузбијање корозије јер по неким истраживања штета од корозије у индустријским земљама износи око пет процената бруто друштвеног производа. Триболошки исправно конструисање је метод којим се савремени конструктори користе јер су трење и хабање значајан узрок скраћивања радног века машинских конструкција.

За одређивање приоритета при конструисању нпр. да ли је естетичност важнија за дату конструкцију од технологичности тј. за доношење одлука неопходно је знање и искуство конструктора. На пример при конструкцији авиона или редуктора естетичност ће бити маргинално заступљена у односу на технологичност док при конструисању неког производа широке потрошње нпр. соковника естетика ће бити веома важна можда чак и пресудна за успех производа.

Литература

- [1] Марјановић Ненад, Методе конструисања, Машински факултет Крагујевац, Крагујевац, 1999.
- [2] G. Pahl and W. Beitz , Engineering Design, Springer, London, 1997.
- [3] Милосав Огњановић, Методика конструисања машина, Машински факултет Београд, Београд, 1990.
- [4] Душан Витас, Основи машинских конструкција, Машински факултет Београд, Београд, 1979.
- [5] Светислав Јовичић, Основи конструисања, Машински факултет Крагујевац, Крагујевац, 2002.
- [6] Слободан Танасијевић, Нови захтеви савременог конструисања-научни рад, Триболошка конференција SERBIATRIB'07 , Београд, 2007.