

**Факултет инжењерских наука  
Универзитета у Крагујевцу**



**Назив студијског програма: Машинско инжењерство**

**Ниво студија: Основне академске студије**

**Модул: Производно машинство**

**Предмет: Основи трибологије**

**Број индекса: 718/2017**

**Љубиша М. Тутуновић**

**Хабање елемената машина и уређаја и  
њихова регенерација**

**Завршни рад**

**Комисија за преглед и одбрану:**

**1. Др Драган Џунић, доцент - ментор**

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

Датум одбране: \_\_\_\_\_

Оцена: \_\_\_\_\_



**Универзитет у Крагујевцу**  
**Факултет инжењерских наука**



Основне студије: **Машинско инжењерство**  
Студијско подручје (усмерење): **Производно машинство**  
Предмет: **Основи трибологије**  
Име и презиме: **Љубиша Тутуновић**  
Број индекса: **718/2017**

**ПРИЈАВА ЗАВРШНОГ РАДА**

Тема рада: **Хабање елемената машина и уређаја и њихова регенерација**

Задатак: У оквиру завршног рада потребно је да кандидат изврши прикупљање и систематизацију података основама одржавања и геометријским карактеристикама елемената машина и уређаја. Посебно размотрити видове хабања и оштећења појединих елемената машина и уређаја. У посебном делу рада приказати неколико примера делова са похабаним и оштећеним површинама и начин њихове регенерације.

Завршни рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Основи одржавања елемената машина и уређаја,
3. Карактеристике елемената машина и уређаја,
4. Видови хабања и оштећења,
5. Примери хабања и оштећења и регенерација делова машина и уређаја,
6. Закључци,
7. Литература.

Ментор:

\_\_\_\_\_  
Др Драган Џунић, доцент

Крагујевац, 24.03.2021.

**Резиме:** Будући да је хабање најчећи узрочник оштећења машиских елемената већине техничких система, у оквиру овог завршног рада описан је процес њиховог одржавања. Дате су основне информације о конструктивним елементима машина и уређаја на којима су у току експлоатације видљиви резултати овог триболошког процеса. Приказани су примери оштећених елемената и њихова регенерација, која у одређеним случајевима отказа техничких система представља најбоље решење са станишта економског и временског аспекта.

**Кључне речи:** хабање, одржавање, регенерација.

**Summary:** This final paper work describes the process of maintenance of machine elements of most technical systems, since wearing out is the most common cause of their damage. It includes basic information on the structural elements of machines and devices, on which the results of this tribological process are visible during exploitation. Presented examples of damaged elements and their regeneration are the best solutions for the certain cases of technical system failures both from the economic and the time point of view.

**Key words:** Fraying, maintenanse, repair.

## Садржај:

|       |                                                       |      |
|-------|-------------------------------------------------------|------|
| 1     | УВОДНА РАЗМАТРАЊА .....                               | 4 -  |
| 2     | ОСНОВИ ОДРЖАВАЊА ЕЛЕМЕНАТА МАШИНА И УРЕЂАЈА .....     | 5 -  |
| 2.1   | Подела одржавања .....                                | 6 -  |
| 2.1.1 | Корективно одржавање .....                            | 6 -  |
| 2.1.2 | Корективно одржавање са аспекта поузданости.....      | 8 -  |
| 2.1.3 | Корективно одржавање – Закључна разматрања .....      | 9 -  |
| 2.2   | Трошкови одржавања .....                              | 9 -  |
| 3     | КАРАКТЕРИСТИКЕ ЕЛЕМЕНАТА МАШИНА И УРЕЂАЈА.....        | 14 - |
| 3.1   | Навојни спојеви.....                                  | 14 - |
| 3.1.1 | Чврсти навојни спојеви .....                          | 14 - |
| 3.1.2 | Покретни навојни спојеви .....                        | 15 - |
| 3.2   | Стандардни профили навоја .....                       | 15 - |
| 3.2.1 | Метрички навој .....                                  | 15 - |
| 3.2.2 | Трапезни метрички навој .....                         | 16 - |
| 3.2.3 | Коси метрички навој.....                              | 17 - |
| 3.2.4 | Обли навој.....                                       | 18 - |
| 3.2.5 | Витвортов (Whitworth) навој (цоловни навој).....      | 18 - |
| 3.2.6 | Посебне врсте навоја .....                            | 19 - |
| 3.3   | Зупчасти преносници.....                              | 20 - |
| 3.3.1 | Подела и карактеристике.....                          | 20 - |
| 3.3.2 | Кинематика зупчастих преносника .....                 | 22 - |
| 3.3.3 | Основни појмови и дефиниције.....                     | 22 - |
| 3.4   | Вратила и осовине.....                                | 27 - |
| 3.4.1 | Основни појмови.....                                  | 27 - |
| 3.4.2 | Конструкциони облици рукаваца, осовина и вратила..... | 27 - |
| 3.4.3 | Рукавци.....                                          | 27 - |
| 3.4.4 | Осовине и осовинице.....                              | 28 - |
| 3.4.5 | Вратила.....                                          | 30 - |
| 3.4.6 | Материјали за израду вратила и осовина.....           | 33 - |
| 3.5   | Спојеви вратила и обртних делова.....                 | 34 - |
| 3.5.1 | Спојеви клиновима .....                               | 34 - |
| 3.5.2 | Уздужни клинови без нагиба .....                      | 34 - |

|       |                                                                                        |      |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4     | ВИДОВИ ХАБАЊА И ОШТЕЋЕЊА .....                                                         | 36 - |
| 4.1   | Хабање .....                                                                           | 36 - |
| 4.1.1 | Адхезивно хабање .....                                                                 | 36 - |
| 4.1.2 | Абразивно хабање .....                                                                 | 37 - |
| 4.1.3 | Хабање услед замора материјала .....                                                   | 37 - |
| 4.1.4 | Ерозија .....                                                                          | 38 - |
| 4.1.5 | Хабање услед оксидације .....                                                          | 38 - |
| 4.1.6 | Хабање услед корозије .....                                                            | 38 - |
| 4.2   | Номенклатура врста хабања и повреда зуба зупчаника .....                               | 39 - |
| 4.2.1 | Хабање: .....                                                                          | 39 - |
| 4.2.2 | Пластично течење (Деформације површинског метала услед великог оптерећења) .....       | 40 - |
| 4.2.3 | Лом (под ломом се подразумева потпуни прелом зуба или прелом његовог већег дела) ..... | 40 - |
| 4.3   | Најчешће врсте хабања зупчаника .....                                                  | 40 - |
| 4.3.1 | Заморно хабање (PITTING) .....                                                         | 41 - |
| 4.4   | Хабање као последица разарања мазивног слоја .....                                     | 42 - |
| 4.5   | Фактори који утичу на хабање зупчастих преносника .....                                | 42 - |
| 5     | ПРИМЕРИ ХАБАЊА И ОШТЕЋЕЊА И РЕГЕНЕРАЦИЈА ДЕЛОВА МАШИНА И УРЕЂАЈА .....                 | 43 - |
| 5.1   | Израда навртке са трапезним навојом 18x4L: .....                                       | 43 - |
| 5.2   | Израда зупчаника Z=40 .....                                                            | 46 - |
| 5.3   | Репарација „крајева“ баланс штангле .....                                              | 49 - |
| 5.4   | Пример репарације полуосовине .....                                                    | 51 - |
| 5.5   | Репарација осовине .....                                                               | 55 - |
| 6     | ЗАКЉУЧАК .....                                                                         | 58 - |
| 7     | ЛИТЕРАТУРА .....                                                                       | 59 - |

# 1 УВОДНА РАЗМАТРАЊА

У данашње време, човек зависи од машина и опреме више него било када у историји човечанства. Константна је потреба за дотоком воде, хране, електричне енергије, грејања, а који директно зависи од поузданости опреме која учествује у њиховој производњи, транспорту, складиштењу и сл. Може се рећи да човек и његов опстанак зависе од стања ових машина и опреме.

Управо из тог разлога много више пажње се посвећује активностима и развоју одржавања. Подизање свести о значају одржавања дошло је тек после великих катастрофа (акцидената) у индустрији, које су утицале не само на животну средину већ и на људе, како директно тако и индиректно.

Један од основних решења за проблеме које узрокују потребу одржавања машина, како би се њихов радни век продужио, представља регенерација елемената машина и уређаја. Овај вид одржавања има вишеструки значај у свим гранама машинства. Познавањем и применом одређених технологија регенерације, може се знатно уштедети новац, као и време, како би одређени технички систем вратили у стање „у раду“. Обзиром да је хабање основни узрок оштећења делова машинских склопова, развијањем нових генерација машина, развија се и нова технологија смањења појаве овог триболошког процеса.

Примена регенерације оштећених делова у одржавању има вишеструки значај. Правовременим реаговањем у случају отказа машине, квар отклоњен регенерацијом одмах након отказа, смањује трошкове набавке новог дела. Уколико део који је проузроковао квар није могуће регенерисати, време набавке заменског дела може потрајати, што такође повећава трошкове као и време потребно за поправку машине.

У оквиру другог поглавља дате су основне информације о појму „одржавање“. Приказана је и подела одржавања, док је детаљније описан вид „корективног одржавања“. Будући да је хабање машинских елемената најчешћи узрок отказа машина, корективно одржавање представља најбољи пример регенерације истих.

У трећем поглављу дате су основне информације о конструктивним елементима делова машина и уређаја. Навојни спојеви, зупчасти преносници, вратила и осовине као покретни делови машинских склопова најбољи су показатељи, где услед недовољног подмазивања или немарности руководиоца машине, може доћи до повећања силе трења и хабања машинских делова.

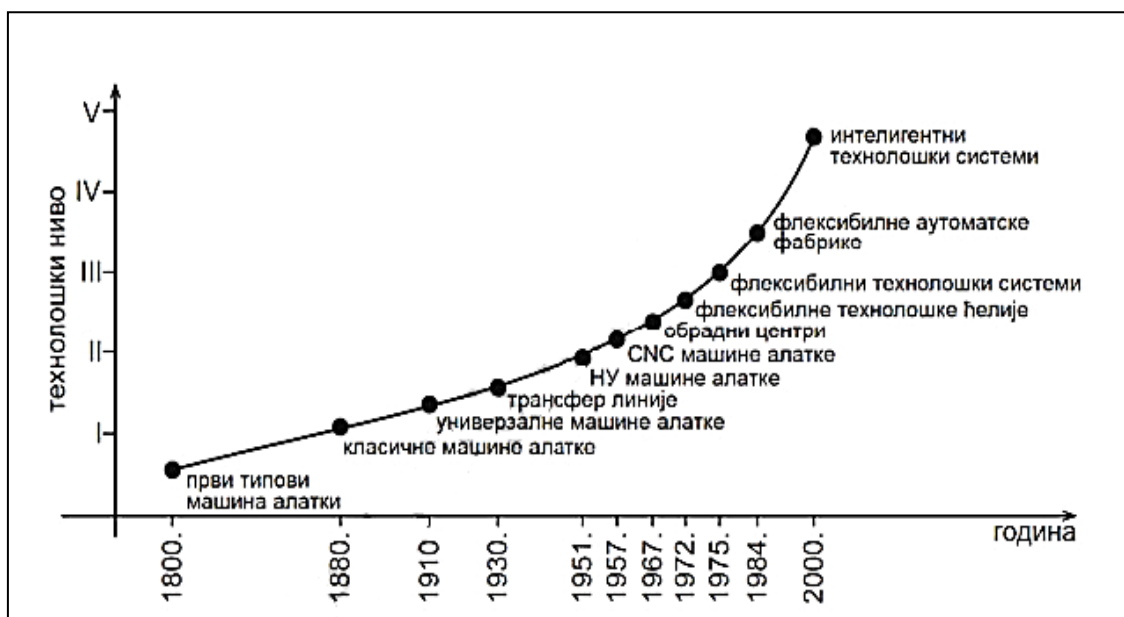
Четврто поглавље резервисано је за видове хабања и оштећења насталих. Зупчасти преносници дати су као пример где се може видети разноврсност триболошких процеса који проузрокују разна оштећења. Приказана је и номенклатура врсте хабања и повреда зуба зупчаника.

У петом поглављу представљени су примери регенерације оштећених делова машина и уређаја, као и израда нових. Текстом и сликама детаљно је описан технолошки поступак обнављања похабаних/оштећених делова система.

## 2 ОСНОВИ ОДРЖАВАЊА ЕЛЕМЕНАТА МАШИНА И УРЕЂАЈА

Појам одржавања (енг. Maintenance) јавља се са појавом првих техничких система које је човек створио. У почетку је одржавање представљало занатску активност која је усмерена на веће или мање поправке у случају настанка отказа. Тек након Другог светског рата почиње да се мења приступ, што доводи до значајног унапређења функције одржавања, а у последњих 50 година се бележи карактеристичан развој и увођење нових метода и технологија у систему одржавања техничких система.

Унапређење техничких система и повишења продуктивности производних процеса током претходних 200 година (*Слика1.*) несумњиво су довели до развоја одржавања.



**Слика 1.** Унапређење техничких система и повишење продуктивности производних процеса<sup>1</sup>

Из свега овога претходно наведеног, можемо навести дефиницију одржавања која гласи:

***Одржавање представља комбинацију техничких, административних и управљачких активности које се спроводе у току радног века једног техничког система у циљу задржавања или обнављања стања система у коме систем може обављати своју пројектовану функцију.***

Одржавање се, данас, још дефинише и као процес у ком се све активности спроводе према унапред дефинисаним критеријумима циља. Ови критеријуми се могу односити на трошкове, расположивост, ефективност, поузданост, итд. Шире посматрано, систем одржавања представља део пословног система и кроз његово дизајнирање/редизајнирање треба да се интегришу оптимална организација, релевантне технологије, инжењерска економија, информациони систем као основ обједињења свих расположивих ресурса (материјалних, кадровских, финансијских, технолошких, и др.)

---

[1] Петар Тодоровић, *Основи одржавања*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2016.

Са појавом индустријске револуције долази до развоја производне опреме у фабрикама које су имале за циљ да обезбеде планирану производњу. Почетком Другог светског рата јављају се све сложеније фабрике које обезбеђују масовну производњу. Долази до енормних промена у индустрији и производна опрема постаје све сложенија, што је наметнуло и промене у систему организације и односа према производњи. Јавља се све већа потреба за одржавањем, односно за људима који поседују мултидисциплинарна знања, што утиче на развој целокупног система одржавања. Почетак одржавања у фабрикама за масовну производњу развија се без високо стручних људи. Систем одржавања је радио по принципу: заменити део тек након отказа. Тај приступ се зове *корективно, односно реактивно одржавање*.

## 2.1 Подела одржавања

Најуопштенија подела метода одржавања би била на:

- непланирано одржавање и
- планирано одржавање

Усвојена подела подразумева **три основне методе** одржавања:

- корективно одржавање
- превентивно одржавање и
- проактивно одржавање,

Као и **две главне подгрупе** превентивног одржавања и то:

- превентивно планско одржавање и
- превентивно одржавање према стању.

Овде је потребно напоменути да корективно одржавање припада групи непланираног одржавања, док превентивно и проактивно одржавање спадају у групу планираног одржавања.

### 2.1.1 Корективно одржавање

У првим фабрикама за масовну производњу које су углавном биле предимензионисане, систем одржавања је радио по принципу: *Заменити део тек након отказа*. Овакав начин одржавања у том периоду представљао је задовољавајуће решење. Тек са накнадним захтевима за повишење ефективности производне опреме схваћени су недостаци ове методе одржавања.

Корективно одржавање (енг. *Corrective maintenance* или *Reactive maintenance*) подразумева скуп активности које се спроводе након појаве отказа у неком техничком систему. Задатак корективног одржавања је да систем из стања у *отказу* преведе у стање у *раду*. Ако се за пример узме осветљење у кући као технички систем, када сијалица „прегори“, технички систем се налази у отказу. Да би се систем довео у стање у раду врши се замена сијалице. Ово је најелементарнији пример корективног одржавања из свакодневног живота. Произвођач сијалице декларише животни век производа кроз број часова рада. Поставља се питање: има ли смисла водити евиденцију колико је часова сијалица провела у раду? Наравно да не. Последице отказа сијалице су углавном безначајне, корективна активност замене је једноставна, а цена нове сијалице није велика. Из овог примера се може закључити да се корективно одржавање углавном примењује на једноставним техничким системима, опреме која није скупа и чији застој не може да угрози процес производње.

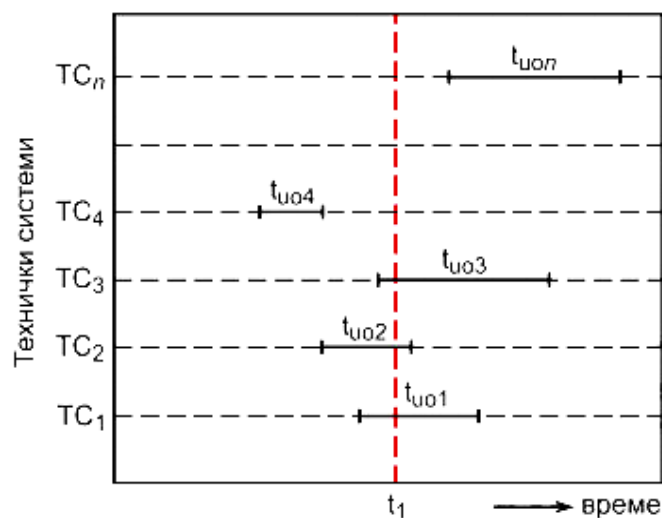
Примена корективног одржавања може се размотрити на примеру аутомобилског мотора са унутрашњим сагоревањем. Отказ мотора доводи до тога да аутомобил више не може да обавља своју функцију циља – да безбедно превезе путнике. Ако би се то десило ван насељеног места, у случајевима лоших временских прилика, то би потенцијално могло да доведе до великих проблема. Осим тога, отклањање таквих отказа, може бити скупо, а понекад неисплативо. Зато власници аутомобила изводе разне активности на својим аутомобилима пре појаве отказа (замена уља, каишева, филтера и сл.)

Још један пример је авион. Отказ мотора или неког другог важног подсистема авиона проузроковао би не само велику материјалну штету, већ и људске губитке.

**Код корективног одржавања активности одржавања се спроводе тек пошто до отказа дође. Технички систем се експлоатише до појаве отказа без икаквих предходних активности, прегледа и праћења стања система.**

Будући да се елементи система одржавају без икаквог плана, појава отказа ће имати стохастичну природу, односно отказ ће бити случајни догађај. Застоје у производњи тада треба прихватити као очекивано стање, што није проблем уколико су производни капацитети предимензионисани. Међутим, чак и тада може доћи до проблема у производњи, посебно у случајевима када је више машина које обављају исту производну операцију у отказу.

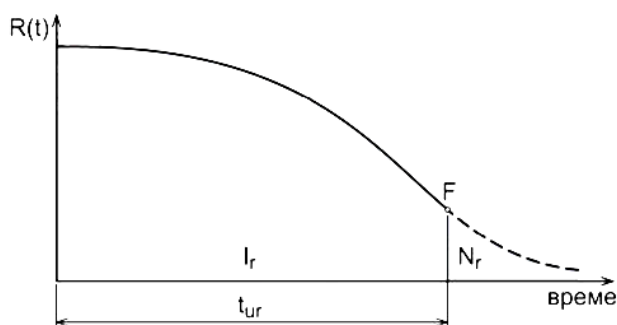
Могу се очекивати сличајеви када се више техничких система налази у отказу, односно да се времена која ови технички системи преведу у отказу  $T_{uo}$  преклопе (**Слика 2.** – временски тренутак  $t_1$ ). Ако се такве ситуације догоде, тада неминовно долази до прекида производње, а потребно је ангажовање више група радника које би радиле на отклањању отказа.



**Слика 2.** Могућа временска слика стања групе техничких делова<sup>2</sup>

Корективно одржавање се најлакше може приказати преко класичног облика функције поузданости техничког система  $R(t)$  (**Слика 3.**). Површина испод криве поузданости може да се посматра као укупан расположив ресурс разматраног техничког система. Укупан расположиви ресурс  $U_r$  једнак је збиру искоришћеног  $I_r$  и неискоришћеног ресурса  $N_r$ . Еквивалент искоришћеном ресурсу је време у раду до појаве отказа  $T_{ur}$  (8).

<sup>2</sup> Петар Тодоровић, *Основи одржавања*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2016



**Слика 3.** Функција поузданости и искоришћење ресурса код корективног одржавања<sup>3</sup>

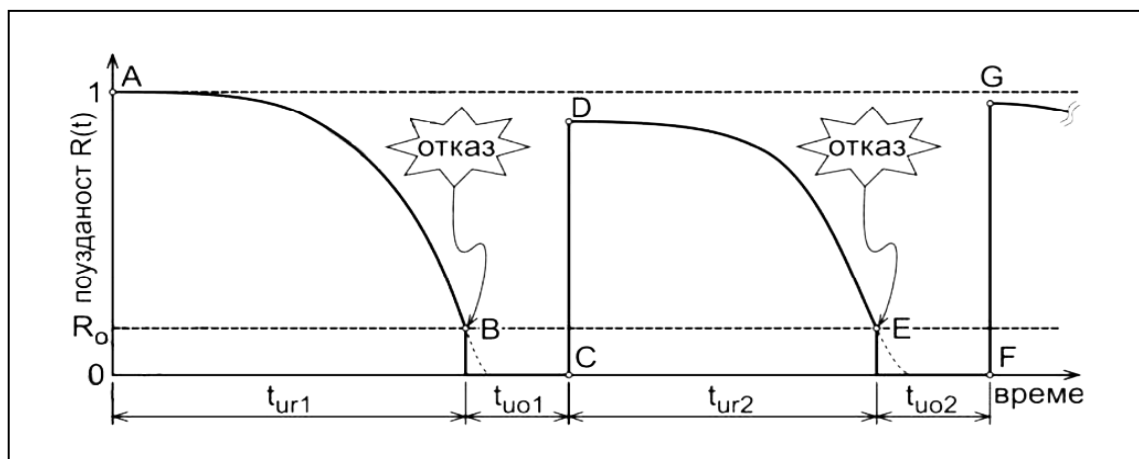
Може се рећи да је неискоришћен ресурс услован и да би представљао преостали расположив ресурс посматраног техничког система да није дошло до отказа једног од његових елемената у тренутку  $F$  (Слика 3.).

Код корективног одржавања врши се експлоатација техничког система до крајњих граница, односно до потпуног искоришћења расположивог ресурса:

Условна преност коректиног одржавања је максимално коришћење расположивог ресурса, што би уједно била и једина предност овог одржавања. У недостатке коректиног одржавања спада немогућност предвиђања настанка отказа и времена његовог трајања, а може се јавити и више повезаних отказа што доводи до дуготрајног застоја опреме. Ако постоји ограничење у погледу броја и одговарајуће стручне оспособљености људства које ради на пословима одржавања, онда поред наведених, ова чињеница може представљати један од главних недостатака коректиног одржавања.

### 2.1.2 Корективно одржавање са аспекта поузданости

Шта се дешава са техничким системом ако се на њему примени корективно одржавање? Одговор на ово питање може се потражити у графичком приказу промене поузданости за случај корективног одржавања (Слика 4.).



**Слика 4.** Корективно одржавање и поузданост система<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Петар Тодоровић, *Основи одржавања*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2016

<sup>4</sup> Петар Тодоровић, *Основи одржавања*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2016

Отклањањем отказа, технички систем се доводи у радно стање ( тачка D – *Слика 4.*) и сада може да настави са радом. У општем случају поузданост система после отклањања отказа је  $R_{(D)} \leq 1$  и може се рећи да је  $R_{(D)} \neq R_{(A)}$ .

Даљом експлоатацијом техничког система долази до понављања предходно описаног циклуса, од тачке D па надаље (*Слика 4.*). Поузданост система пада до појаве отказа (Тачка E – *Слика 4.*), што даље дефинише време у раду  $t_{ur2}$ . Појава отказа доводи до активирања службе одржавања која, током времена које технички систем проведе у отказу  $t_{ou2}$ , доводи систем у стање у раду (тачка G – *Слика 4.*). Описан циклус се понавља све до краја животног века разматраног техничког система. У општем случају, трајања времена у раду и трајања времена у отказу су различита, односно  $t_{ur1} \neq t_{ou1}$  и  $t_{ur2} \neq t_{ou2}$ . Један од првих корака који би требало да претходи планираним активностима из области одржавања је евидентирање ових података.

Потребно је напоменути да се промена поузданости код техничких система код којих се примењује корективно одржавање не зна. То је последица чињенице да се стање опреме не прати. Једина информација коју служба одржавања има је да је систем у раду или у отказу.

### **2.1.3 Корективно одржавање – Закључна разматрања**

Из предходних примера може се закључити да корективно одржавање има своје предности и недостатке, али да и даље има своје место у организационим структурама одржавања.

Корективно одржавање није погодно код одговорних техничких система код којих отказ може проузроковати нежељене последице; код техничких система који имају велики утицај на производњу и чијим отказом долази до застоја производње; код скупих система где отказ изазивају велику штету и др. Корективно одржавање је погодно применити код једноставнијих техничких система или неких њихових елемената, пре свега јер се ресурси код ових система користе максимално и нису потребне никакве додатне активности.

Одлука да ли ће се на неком техничком систему или неком његовом елементу применити корективно или превентивно одржавање доноси се на основу поређења трошкова замене критичног елемента и укупних трошкова у случају отказа. Још један важан критеријум на основу којег се доноси одлука о примени одређеног типа одржавања је безбедност радника.

## **2.2 Трошкови одржавања**

Активности одржавања су веома важан фактор који утиче на дужину радног века производне опреме. Када се помену трошкови одржавања, обично се посматрају само трошкови рада и материјала који је потребан да се опрема врати у стање рада. Када се посматрају сви трошкови током радног века производне опреме, узимају се у обзир: трошкови набавке, укључујући транспорт, доставу и сл. ;

Трошкови рада, као и све што је неопходно за рад почев од погонске енергије, помоћних објеката где се опрема налази и сл;

Трошкови одржавања, који укључују запослене у одржавању, резервне делове, уређаје за одржавање и сл. ;

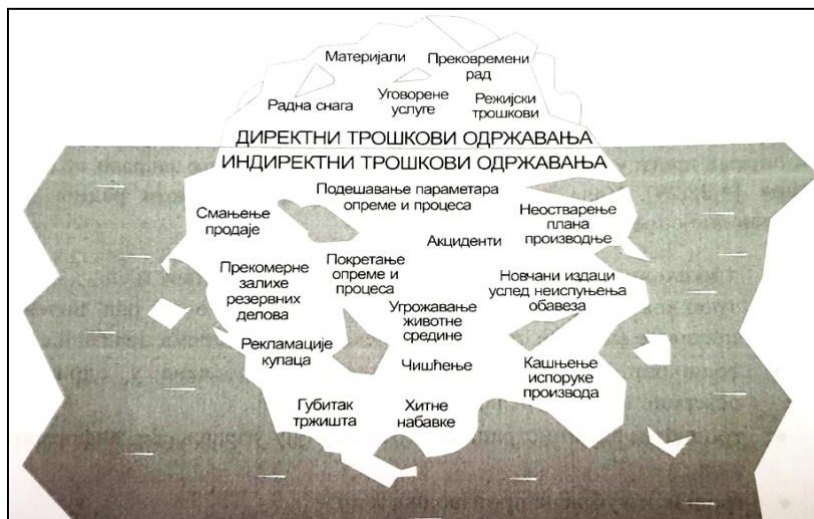
Трошкови администрације који укључују управљање, информатику и сл. ;

Трошак изгубљене производње и др.

Циљ сваког предузећа је да се оствари максимална продуктивност уз што мање трошкове. Зато је неопходно да се прате и анализирају сви резултати процеса који су укључени у производњу, а ту спада и одржавање опреме. На основу ових информација може се утицати на стратегију пословања и одржавања. Најуопштеније, трошкови одржавања могу се поделити на:

- Директне и
- Индиректне.

Директни трошкови се везују за одржавање опреме у радном стању и укључују трошкове периодичне контроле, превентивног одржавања, трошкове поправке и сервисирања. Индиректни трошкови се везују за губитке у производњи услед непланираних застоја, услед општећења на пррмеи која се јављају због лошег одржавања током животног циклуса, услед пада квалитета производа, односно производње шкарта. Да би се схватио удео директних и индиректних трошкова одржавања, у литератури се користи прођење са леденим брегом (*Слика 5.*). На поменутој слици је извршено даље разлагање директних и индиректних трошкова одржавања.

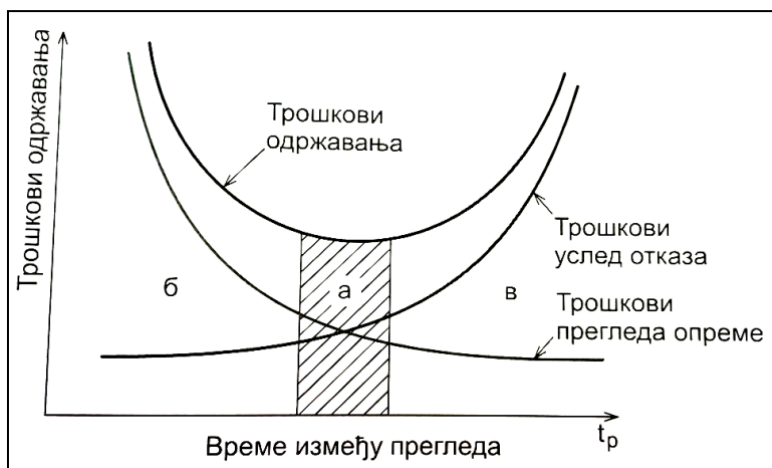


**Слика 5.** Видљиви и скривени трошкови одржавања<sup>5</sup>

Трошкови одржавања нису исти током целокупног животног циклуса техничког система. У содређеним периодима животног циклуса техничких система неопходно је интензивирати активности одржавања, што повлачи анагажовање већег броја запослених на овим активностима. Како на почетку и на крају експлоатације техничког система долази до интензивније појаве отказа, у овим периодима је потребно интензивирати прегледе и друге активности службе одржавања. Запошљавањем већег броја људи унутар службе одржавања, односно интензивирањем активности које спороводи служба одржавања повећавају се трошкови. Овај случај се може јавити код превентивног одржавања, где интензивнији прегледи стања могу довести до значајног повећања трошкова. Прегледи стања са аспекта учесталости извођења, односно са аспекта анализе трошкова одржавања, могу се поделити у три категорије

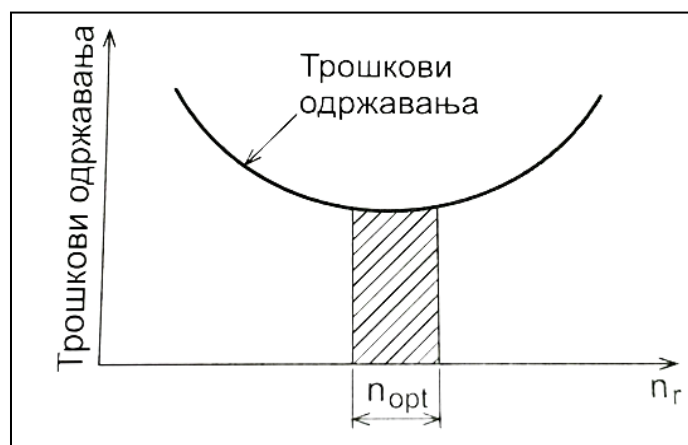
- Оптималне (а)
- Недовољне (б)
- Преобимне (в).

<sup>5</sup> Петар Тодоровић, *Основи одржавања*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2016



**Слика 6.** Утицај временског интервала између два прегледа на трошкове одржавања<sup>6</sup>

Уколико се посматра број ангажованих радника на пословима одржавања, неопходно је напоменути да постоји оптималан број радника порт који се везује за минималне трошкове одржавања (**Слика 7.**).

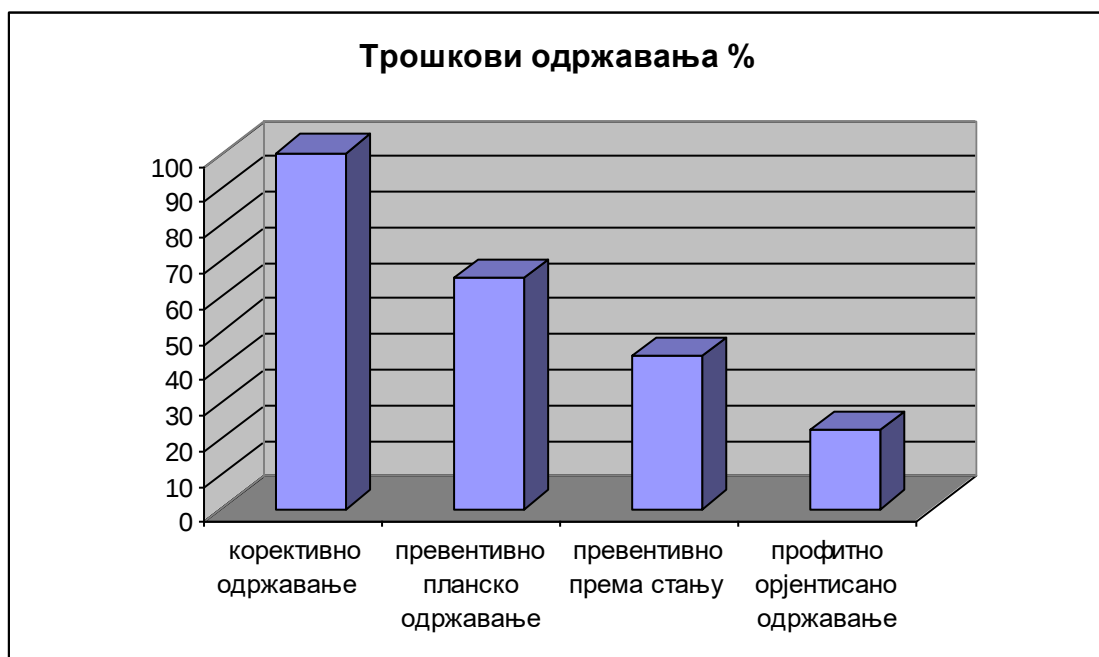


**Слика 7.** Зависност трошкова одржавања од броја ангажованих радника<sup>7</sup>

На трошкове одржавања утиче избор примењене методе одржавања прозиводне опреме, тако да је неопходно извршити снимање и анализу постојећег стања система одржавања. Након анализе потребно је одбацити сва уочена лоша решења која утичу на повећање трошкова одржавања и применити нова. **Слика 8.** даје релативни однос трошкова одржавања у зависности од примењене методе одржавања на примеру термоелектране.

<sup>6</sup> Петар Тодоровић, *Основи одржавања*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2016

<sup>7</sup> Петар Тодоровић, *Основи одржавања*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2016



**Слика 8. Релативни однос трошкова одржавања термоелектране у зависности од врсте одржавања<sup>8</sup>**

Ако се анализирају само тршкови радне снаге и различити приступи одржавању производне опреме (корективни, превентивни и проактивни) долази до следећих закључака.

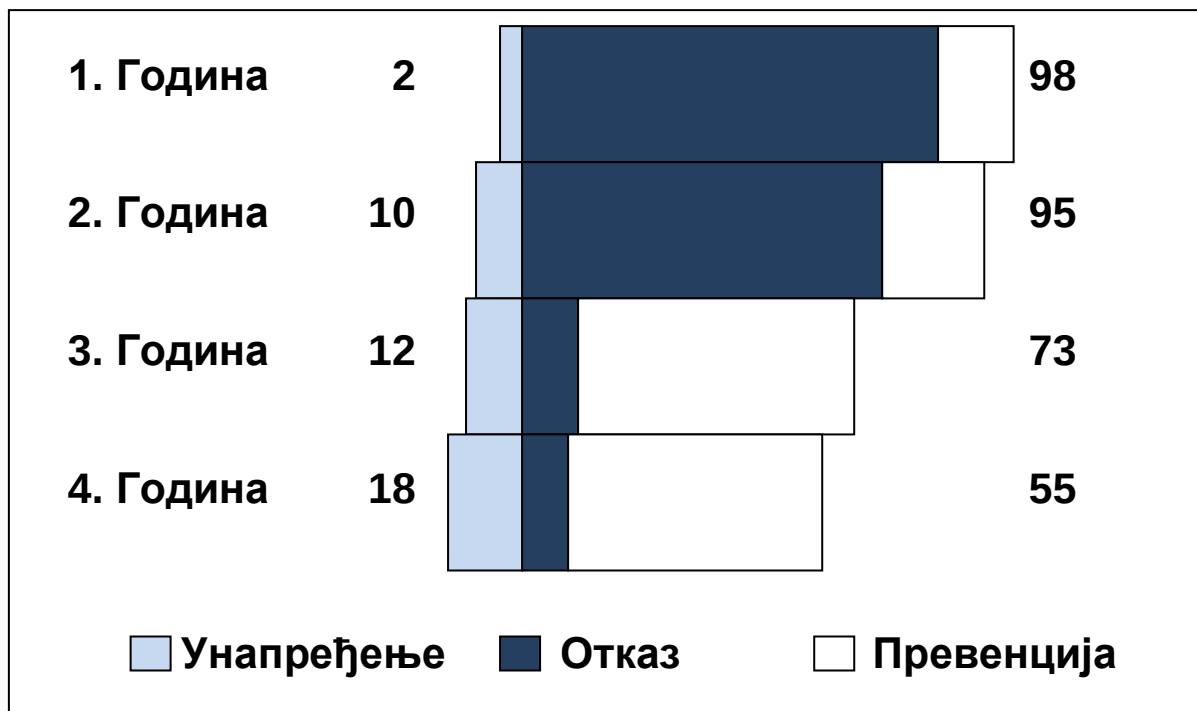
Код корективног одржавања време се троши на:

- Чекање на резервне делове,
- Чекање на информације, цртеже, инструкције и сл.,
- Чекање на уређаје и приборе који се ангажују по уговору и
- Чекање на раднике одржавања који завршавају предходни посао,
- што све улази у трошкове.
- Код напреднијих концепата одржавања (превентивног или проактивног):
- Све активности се планирају унапред,
- Организација посла се усклађује са производњом,
- Сви резервни делови су благовремено набављени и постоје у минимално потребној количини у магацину,
- Сви уређаји и прибори за праћење стања опреме спремни су за коришћење и
- Скоро потпуно су елеминисане хитне интервенције.

Важност утицаја трошкова одржавања на пословну стратегију може бити од великог значаја за опстанак компанија на светском тржишту.

---

<sup>8</sup> Петар Тодоровић, *Основи одржавања*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2016



Слика 9. Однос трошкова одржавања и улагања унапређења<sup>9</sup>

Што је концепт одржавања напреднији, индикетни трошкови одржавања се више смањују, а директни повећавају. Ефекат повећања директних трошкова често је безначајан у односу на смањење индиректних трошкова и укупни профит који се при томе остварује. **Слика 9.** показује однос средстава која се троше ена унапређења производне опреме и укупних трошкова одржавања у периоду од четири године. За одржане услове и постављене захтеве трошкови одржавања се могу минимизирати.

<sup>9</sup> Петар Тодоровић, *Основи одржавања*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2016

### 3 КАРАКТЕРИСТИКЕ ЕЛЕМЕНАТА МАШИНА И УРЕЂАЈА

Основни елементи машина и уређаја се могу сврстати у неколико група:

- елементи навојних спојева: вијци, навртке, завојна вретена и др.
- зупчасти преносници,
- вратила и осовине
- кућишта и др.

У наредном делу текста су дате основне информације о геометријским карактеристикама ових елемената машина и уређаја. Из овог прегледа се може закључити о сложеној геометрији делова и потребним специфичним технологијама за њихову израду.

#### 3.1 Навојни спојеви

Веза два или више машинских делова остварена посредством навоја представља навојни спој. Навојни спојеви спадају у групу раздвојивих машинских спојева, а то значи да спојени делови могу да се раздвајају и поново спајају без оштећења. Навојни спој обезбеђује жељени положај спојених делова и преношење оптерећења. Поред тога, помоћу навојног споја може да се оствари међусобно притискивање и заптивање машинских делова; прецизно померање и подешавање код мерних инструмената и уређаја, међусобно релативно кретање спојених делова, претварање обртног кретања у праволинијско кретање и др.

Основна функција навојних спојева је преношење оптерећења са спољашњег на унутрашњи навој и обрнуто.

Навојни спојеви могу бити:

- непокретни (чврсти навојни спојеви) и
- покретни (навојни преносиоци).

##### 3.1.1 Чврсти навојни спојеви

Чврсти навојни спојеви обезбеђују преношење оптерећења са једног машинског дела на други или остваривање притиска на додиру спојених делова, као и остваривање деформација у споју. Спојени делови су међусобно непокретни, а веза се може расклапати без разарања. Ови навојни спојеви имају велику примену.

Навој може бити израђен непосредно на деловима који се спајају (цеви, славине, вентили, итд.) и то су непосредни чврсти навојни спојеви или на посебним навојним деловима (завртњи, навртке) код посредних чврстих навојних спојева.

Чврсти навојни спој остварен помоћу завртња и навртке зове се **завртањска веза**.

Према правцу дејства спољашњег оптерећења у односу на осу завртња, завртањске везе се деле на

- уздужно и
- попречно оптерећене завртањске везе.

Код **уздужно оптерећених завртањских веза** радно оптерећење дејствује у правцу осе завртња и тежи да раздвоји спојене делове тј. да доведе до стварања зазора између њих. Завртањска веза има задатак да спречи раздвајање и омогући преношење оптерећења са једног на други спојени део. Већина уздужно оптерећених завртањских веза се преднапреже предходним притезањем (сила  $F_p$ ). То су притегнуте везе. Везе код којих се остварује велики притисак на додирним површинама спојених делова су притисне, за разлику од обичних завртањских веза, где ова вредност притиска није значајна. Уздужно оптерећење завртањске везе без силе претходног притезања су непритегнуте завртањске везе (сила притезања доводи до повећања оптерећења у спојеним деловима, па код конструкција где то није пожељно, завртањска веза не сме бити притегнута).

Код **попречно оптерећених завртањских веза**, оптерећење дејствује управо на осу завртња и тежи да помери спојене делове у равни њиховог додира. Дејством отпора трења код фрикционих (неподешњних) веза или смицањем стабла завртња код смицајних (подешених) веза, онемогућено је то померање.

У пракси најширу примену налазе неподешене (фрикционе) попречно оптерећене везе и притисне уздужно оптерећене завртањске везе.

### **3.1.2 Покретни навојни спојеви**

Покретни навојни спојеви служе за претварање обртног кретања у праволинијско, односно претварање обртног момента у аксијалну силу. Покретним навојним спојевима врши се позиционирање алата у односу на радни предмет код машина за обраду резањем, успостављање тачног међусобног односа делова код мерних инструмената и др. Већина покретних навојних спојева, поред тога што врши претварање обртног момента у аксијалну силу, обезбеђује и њихов пренос до места извршења функције, па се зато зову навојни преносиоци.

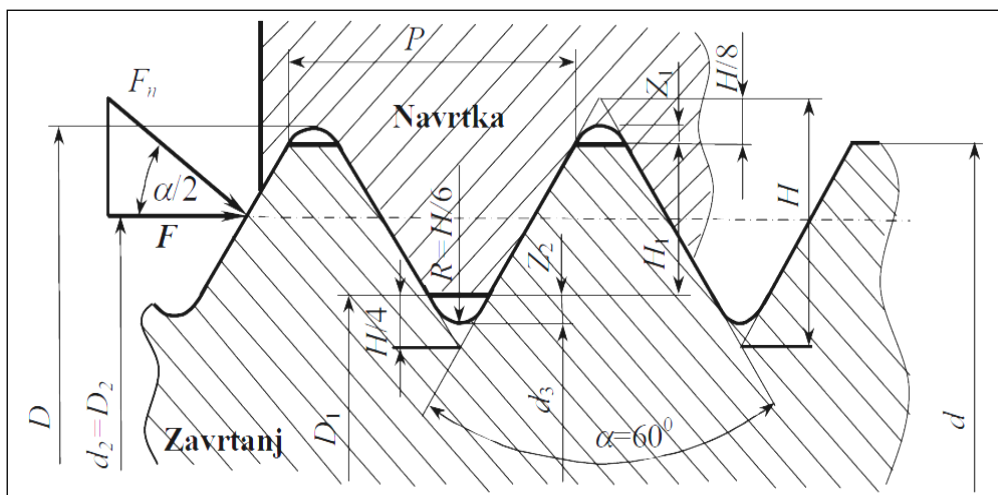
## **3.2 Стандардни профили навоја**

Према облику профила, теоријски, постоји врло велики број разноврсних навоја. Међутим, да би се обезбедила заменљивост навојских парова и економичност израде, број разноврсних профила је смањен и њихове димензије су прописане стандардима. Стандардни профили навоја су:

### **3.2.1 Метрички навој**

Метрички навој – навој са ISO троугластим профилем, потиче још од 1898. када је усвојен на међународном конгресу у Цириху. То је први навој (најстарији навој) чије су димензије стандардизоване у метричком систему јединица по чему је и добио назив метрички навој. Теоријски профил навоја је једнакостранични троугао, па је угао профила навоја  $\alpha = 60$  степени. Код стварног профила спољашњег навоја извршено је скраћење врха (темена) за  $H/8$  и заобљење у корену радијусом  $R = H/6$ . Врх унутрашњег навоја је скраћен за  $H/4$ , а корен је заобљен. Радијус  $R$  има велику вредност па је смањена концентрација напона.

Велики угао профила утиче на повећање коефицијента трења у навојном пару. Такође, због великог угла профила навојци су на малом међусобном растојању.

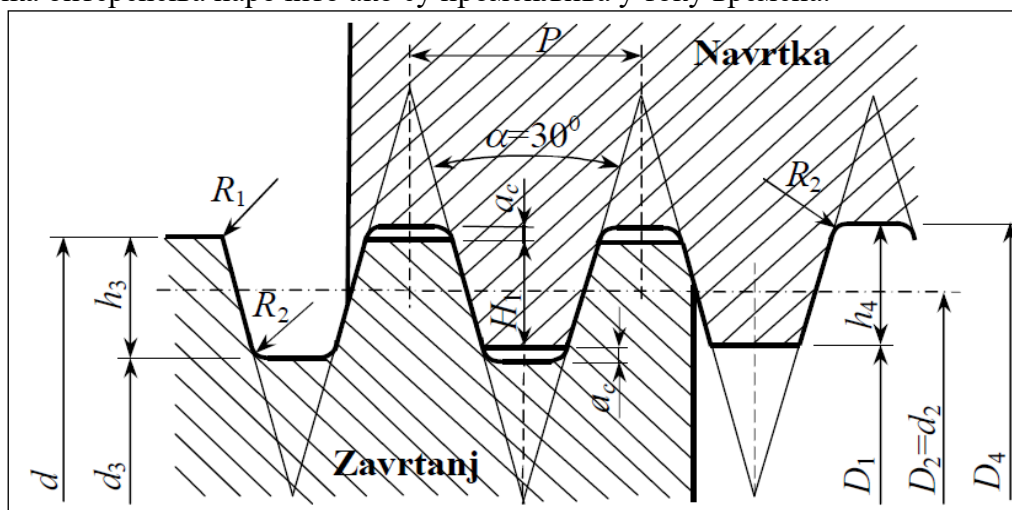


**Слика10.** Метрички навој – навој са ISO троугластим профилем<sup>10</sup>

Метрички навој крупног корака означава се  $Md$ , где је  $d$  номинални пречник, на пример  $M4$ ,  $M10$ ,  $M30$  итд. Ознака метричног навоја финог корака је  $MdxP$ , где је  $P$  корак навоја, на пример  $M10 \times 1,25$ ,  $M16 \times 1,5$  итд. За сваки пречник  $d$  предвиђено је неколико вредности корака  $P$ . Посебна врста ових навоја са ситним кораком је метрички цевни навој, који је конусан и означава се са  $MdxP_{kon}$ .

### 3.2.2 Трапезни метрички навој

Трапезни метрички навој је добио име према свом облику (трапез). Теоријски профил овог навоја је једнакокраки тругао са углом профила  $30^\circ$ , сл. 11. Стварни профил је добијен тако што је извршено велико скраћење врхова теоријског профила, па је стварни профил добио облик трапеца. Радијус заобљења у корену навоја је мали и смањена је активна носећа површина на дужини ношења. Зато овај навој није погодан за велика оптерећења нарочито ако су променљива у току времена.



**Слика 11.** Трапезни метрички навој<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

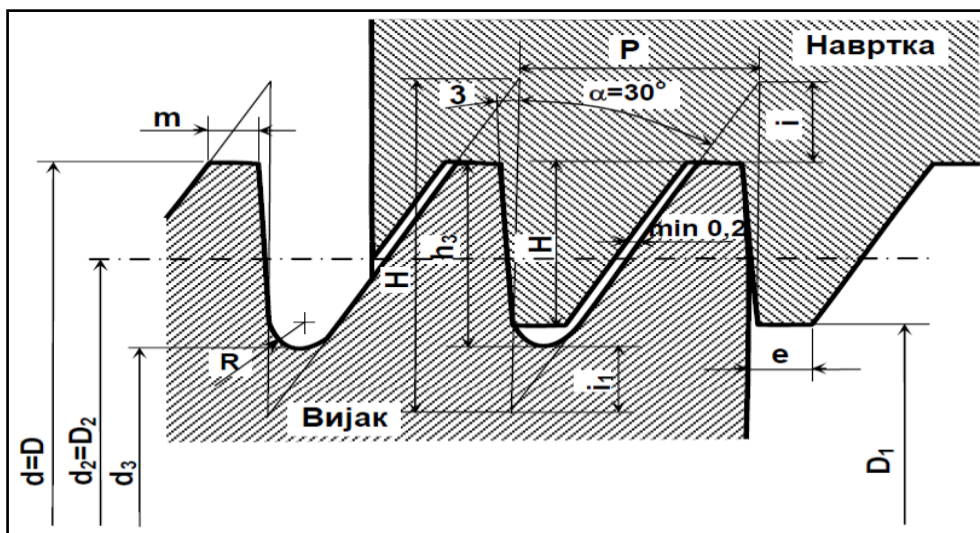
<sup>11</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

У поређењу са метричким навојем са троугластим ISO профилем, трапезни навој има нижу вредност коефицијента отпора трења  $\mu_n$  у навојном пару. Ова особина одређује и подручје примене ових навоја. Примењују се код покретних навојних спојева (навојна вретена дизалица, преса, локомотивска вретена) и јако оптерећених чврстих навојних спојева великог пречника навоја или често раздвојивих веза. Степен искоришћења трапезних навојних спојева је мали.

Карактеристичне величине су номинални пречник  $d$  и корак  $P$ . Стандардима је предвиђен трапезни навој са ситним, нормалним и крупним кораком; највише се примењују трапезни навоји са нормалним кораком. При истом номиналном пречнику  $d$ , ситни навој има мањи корак и мању дубину навоја, а навој крупног корака има већу дубину навоја и већи корак у односу на трапезни навој нормалног корака. Стандардом је навој дефинисан за пречнике од 8 до 300 mm и то за пречнике до 20 mm са две величине корака (нормални и ситни), а за пречнике преко 20 mm са све три величине корака. Означава се са  $TrdxP$  за једноструки десни навој, где је  $d$  номинални пречник навоја и  $P$  корак, на пример  $Tr24x5$ ,  $Tr48x8$  итд. За двојструки навој ознака би била  $Tr\ 48 \times 16 (P8)$ , где је ход  $L = 16$  mm и корак  $P = 8$  mm.

### 3.2.3 Коси метрички навој

Коси метрички навој је несиметричан (**Слика 12**). Теоријски профил навоја је приближно правоугли троугао са углом профила  $30^\circ$ . Стварни профил је настао скраћењем врхова ових троуглова и великим заобљењем у корену спољашњег навоја (видети и табелу 1.2.6.). Навој је несиметричан јер је један блок нагнут под углом од  $30^\circ$ , а други под углом од  $30^\circ$ . У контакту се налазе само бокови са мањим нагибом ( $\alpha=3^\circ$ ) и преко њих се преноси оптерећење. Коефицијент отпора трења у навојном пару има још мању вредност него код трапезног навоја  $\mu_n$ . Коси метрички навоји се, због тога, примењују код јако оптерећених навојних вретена и подесни су за пренос великих аксијалних сила у једном смеру (сила не може да мења смер), на пример, вретена тешких преса, локомотивска вретена и др.



Слика 12. Коси метрички навој<sup>12</sup>

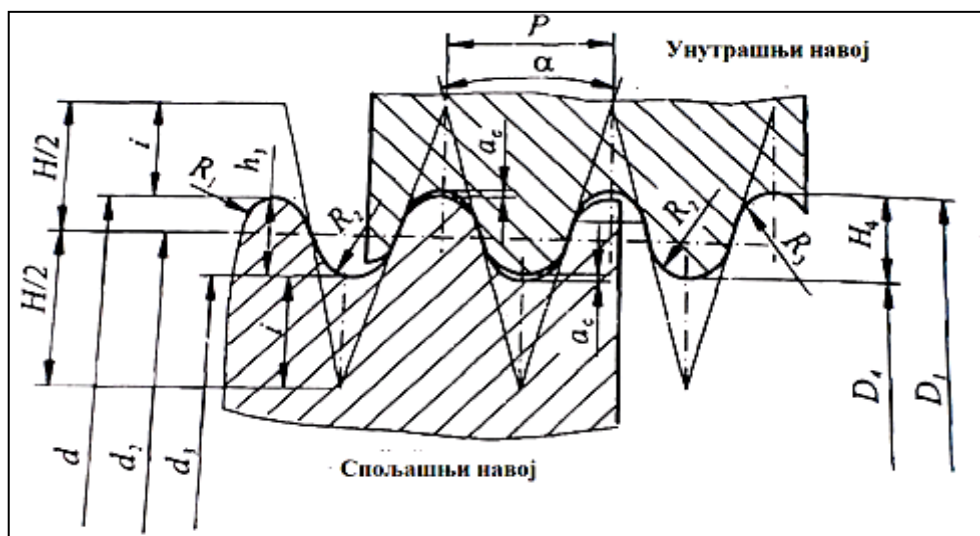
<sup>12</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

Коси навој је стандардизован за пречнике од 10 до 640 mm и израђује се са ситним, нормалним и крупним кораком. Стандардне вредности номиналних пречника и корака су исте као и код трапезног навоја. Коси навој се означава са SdxP, на пример S 48x7, итд.

### 3.2.4 Обли навој

Обли навој се одликује малом дубином ношења, Сл. 13. Теоријски профил је једнакокраки троугао са углом при врху од 30°. Стварни профил је добијен великим заобљењем врхова и корена навоја, тако да су исти добили облик, приближно, полукруга. Профили спољашњег и унутрашњег навоја се не поклапају и постоји велики темени зазор.

Међусобни додир се остварује само у уском појасу око средњег пречника, па је носивост навојног споја веома мала.



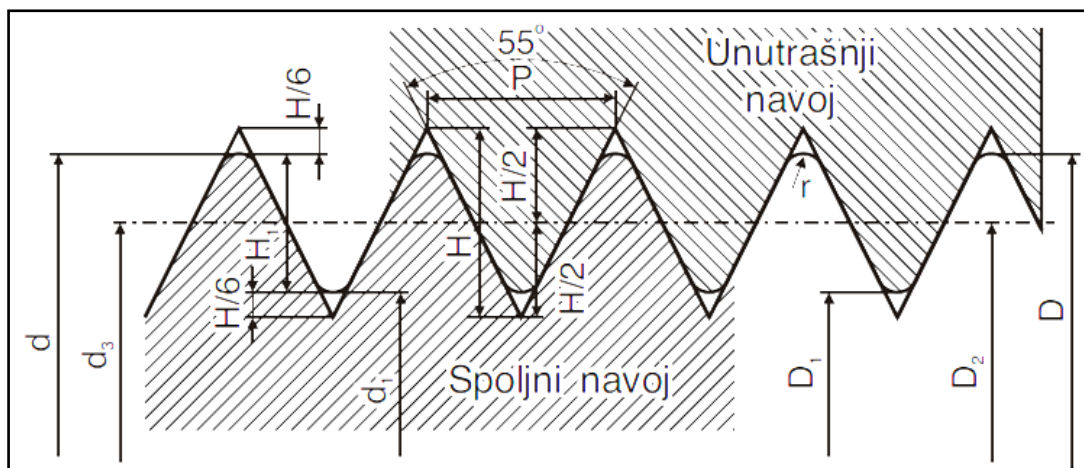
Слика13. Обли навој<sup>13</sup>

Овај навој је, захваљујући великим зазорима, отпоран на прашину, песак и уопштено прљавштину, па се примењује код ватрогасног прибора, црева, цевне арматуре, вагонских спојница и др. Примењује се и код сијаличних грла која су од лима (овај навој се лако израђује пресовањем у лиму). Одликује се великом покретљивошћу. Ознака облог навоја је RddxP, на пример Rd36x3,17.

### 3.2.5 Витвортов (Whitworth) навој (цоловни навој)

Витвортов (Whitworth) навој (цоловни навој) потиче још из 1845., Сл. 14. Димензије навоја су дате у цолима (1 цол = 25,4 mm) због чега је овај навој непрактичан. Теоријски профил навоја је једнакокраки троугао са углом при врху од 55°. Стварни профил је настао краћењем врхова троугла за H/5 и заобљењем врхова и подножја навоја. Примењује се за непокретне навојне спојеве (за водоводне цеви, славине, вентиле и др.). Према ДИН-у, ознака за херметички цевни навој је R и називни пречник d у цолима, нпр. R 2" (означава навој пречника d = 2"). Карактеристична вредност за Витвортов навој је број ходова или завојака на дужини 1". Број ходова је већи уколико је завојница мањег пречника и износи, на пример 20 за d=1/4", а 2,5 за d=6".

<sup>13</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004



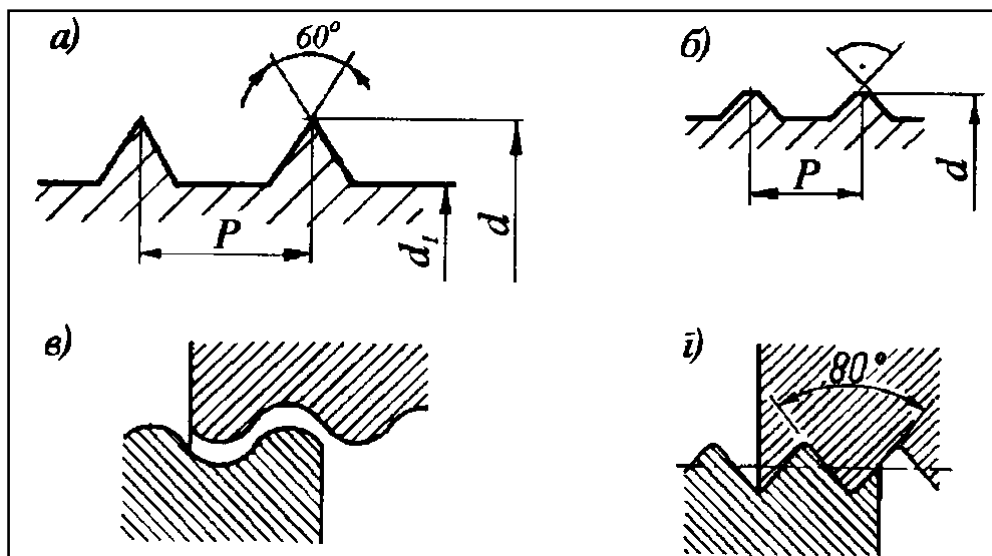
Слика 14. Витворт навои<sup>14</sup>

Код Витвортворових завојница пречника испод  $1/4$  ", угао нагиба завојнице је веома близак углу трења, па би делови са таквим навојем могли да се одвијају само ид себе. Зато завојнице са  $d < 1/4$  " нису стандардизоване и не треба их употребљавати.

Витвортове фине завојнице имају скраћени врх. Нарочито су погодне за цеви танких зидова, престенове, шупља вратила и др.

### 3.2.6 Посебне врсте навоја

**Посебне врсте навоја** су специфичног облика. На Сл. 15., дати су неки примери ових навоја, као: навој за дрво (а), навој за лим (б), навој за цеви код електро инсталација или Едисон-ов навој (ц) и навој за оклопне цеви (д) и др. Навоји за дрво и лим су троугластог профила са повећаним кораком и при уградњи просецају пролаз у материјалу па није потребан унутрашњи навој. Карактеристичан је навој за лим јер има угао профила једнак  $90^\circ$ .



Слика 15. Посебне врсте навоја<sup>15</sup>

<sup>14</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

<sup>15</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

### 3.3 Зупчасти преносници

#### 3.3.1 Подела и карактеристике

Зупчасти преносници преносе кретање и обртни момент са једног вратила на друго помоћу тзв. везе обликом, коју чини спрега зубаца зупчаника. При томе се врши и одређена трансформација броја обртаја и обртног момента. Најједноставнији зупчасти преносник састоји се од два зупчаника у спреси који чине зупчасти пар. Један од ова два зупчаника је погонски, а други гоњени. Погонски зупчаник преноси кретање и обртни момент на гоњени зупчаник. Зупчаници који чине зупчасти пар називају се спрегнути зупчаници.

Према међусобном положају оса вратила погонског и гоњеног зупчаника разликују се:

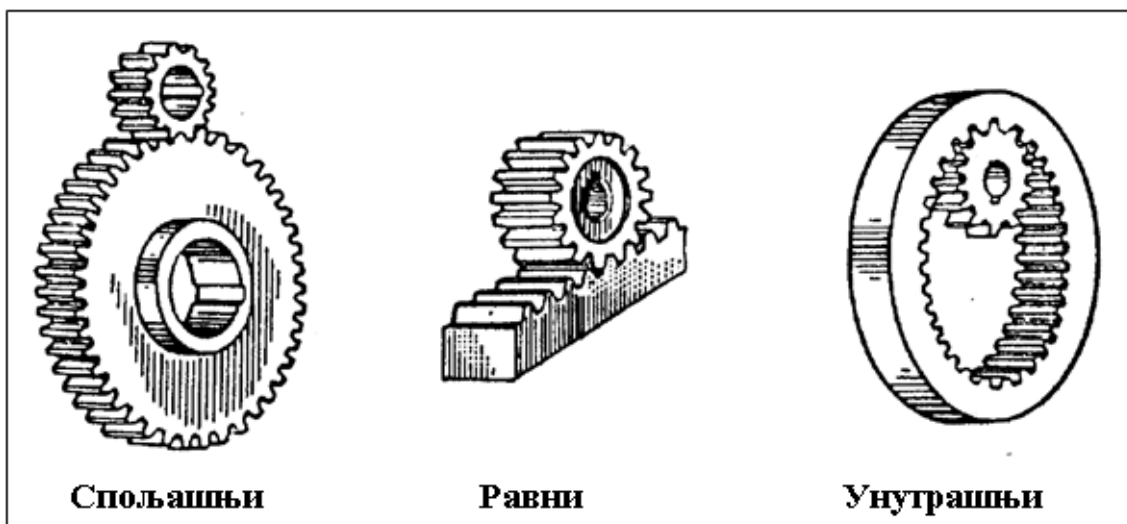
- Цилиндрични зупчасти парови – зупчасти преносници код којих су осе вратила паралелне,
- Конични зупчасти парови – зупчасти преносници код којих се осе вратила секу,
- Хиперболоидни зупчасти парови – зупчасти преносници код којих се осе вратила мимоилазе.

Према облику зубаца, зупчаници могу бити са:

- правим,
- косим,
- стреластим и
- завојним (кривим) зупцима.

Цилиндрични зупчасти парови се деле на:

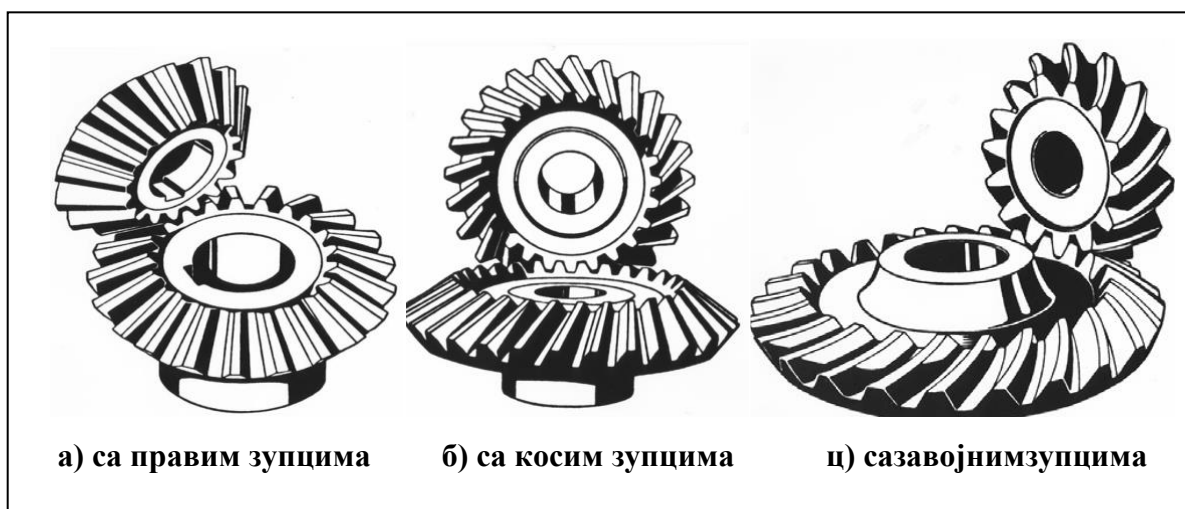
- спољашње,
- равне и
- унутрашње зупчасте парове, Сл. 16.



Слика16. Цилиндрични зупчасти парови <sup>16</sup>

<sup>16</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

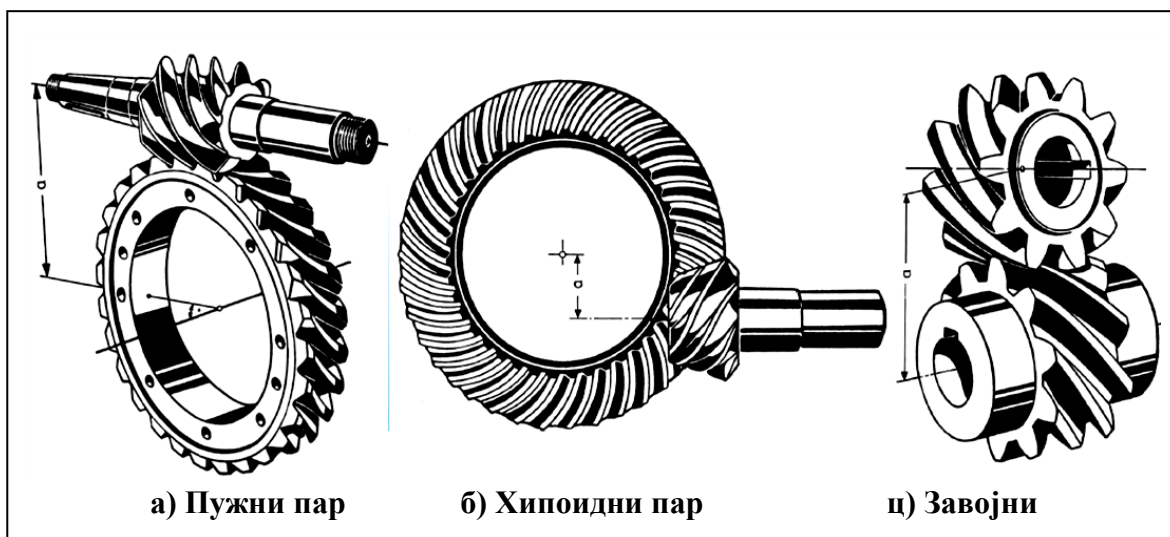
Подела коничних зупчастих парова према облику зубаца приказана је на *Слици 17*:



**Слика 17.** Конични зупчасти парови<sup>17</sup>

Хиперболоидни зупчасти парови се разврставају у три групе:

- цилиндрични зупчаници са хеликоидним зупцима за мимоилазна вратила (вијачници),
- хипоидни зупчасти парови и
- пужни парови (*Слика 18*).



**Слика 18.** Хиперболоидни зупчасти парови<sup>18</sup>

При стегању зупчастих парова остварује се крута кинетичка веза улазног и излазног вратила, тј. остварује се тачан кинематички преносни однос. То представља основну њихову предност. Поред тога, предности зупчастих парова су мале димензије, висок степен искоришћења (изузев хиперболоидних зупчастих парова), велика издржљивост и трајност у раду, примена у веома широком дијапазону снага, бројева обртаја, преносних односа и др.

<sup>17</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

<sup>18</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

Недостатак зупчастих преносника је потреба за великом тачношћу израде, хабање и трошење у раду, велика крутост у преносу снаге, вибрације и бука и др. Због буке и вибрација погодно је, на улазу зупчастих преносника, поставити еластичну спојницу.

Зупчasti преносник може бити састављен само од два зупчаника, тј. једног зупчастог пара (једноступени преносник). Комбинацијом више једноступених зупчастих парова различитих врста добија се вишеступени зупчasti преносник.

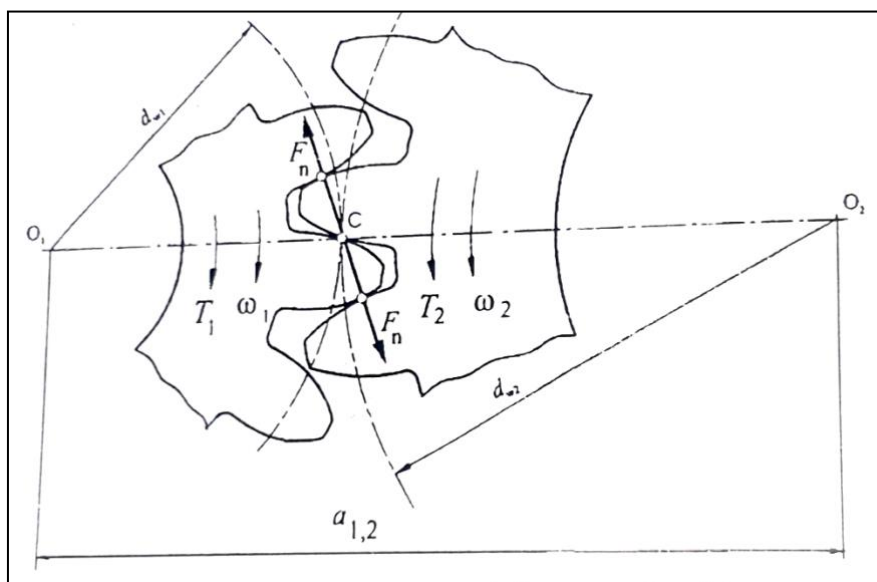
Област примене зупчастих преносника је веома широка, почев од прецизних апарата, као што су часовници, до огромних машина. Зато се зупчasti преносници по облику, конструкцији и изради значајно разликују.

### 3.3.2 Кинематика зупчастих преносника

Кинематика зупчастих преносника се бави изучавањем облика зубаца зупчаника и основних законитости кретања зупчаника. У кинематици зупчастих преносника, зупчаници се посматрају као апсолутно крута тела.

### 3.3.3 Основни појмови и дефиниције

При стезању зупчаника замишљени цилиндри, односно кинематски цилиндри (додирни цилиндри) котрљају се један по другом без клизања. Овај основни кинематички услов мора бити задовољен да би се остварио константан преносни однос. При томе, ако на погонском зупчанику дејствује обртни момент  $T_1$  при одређеној угаоној брзини  $(\omega)_1$ , непосредним додиривањем зубаца погонског и гоњеног зупчаника, на гоњеном зупчанику се генерише обртни момент  $T_2$  при угаоној брзини  $(\omega)_2$  (Слика 19). Зупци погонског зупчаника потискују зупце гоњеног зупчаника и тако се покреће гоњени зупчаник.



Слика 19. Котрљање кинематских кругова без клизања<sup>19</sup>

<sup>19</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

У тачки додира зубаца јављају се номиналне силе  $F_n$  које су истог правца и интезитета али супротног смера. Ако се кинематски цилиндри пресеку са равнима управним на осе обртања зупчаника, добијају се кинематски кругови.

Додирна тачка кинематских кругова назива се кинематски или тренутни пол. (Тачка С), (*Слика 20*).

Кинематски кругови котрљају се један по другом без клизања, само ако су њихове обимне брзине ( $v_t$ ) међусобно једнаке. Ако су  $r_{w1}$  и  $r_{w2}$  полупречници кинематских кругова, а одговарајући бројеви обртаја  $n_1 n_2$  добија се:

$$v_{t1} = r_{w1}\omega_1 = \pi d_{w1}n_1 \text{ и } v_{t2} = r_{w2}\omega_2 = \pi d_{w2}n_2$$

Из зслова  $v_{t1} = v_{t2}$  дефинише се основна кинематичка величина зупчастих преносника, односно преносни однос:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{r_{w2}}{r_{w1}}$$

То је тзв. радни преносни однос, где се индекс "1" односи на погонски, а индекс "2" на гоњени зупчаник. Даље се може показати да је:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1}$$

Где су:  $z_1$  и  $z_2$  бројеви зубаца зупчаника, а  $d_1$  и  $d_2$  пречници подеоних кругова. Код редуктора је  $i > 1$ , а код мултипликатора  $i < 1$ .

Међутим, често се дефинише и кинематски (кинематички) преносни однос:

$$u = \frac{z_2}{z_1} > 1, \text{ односно } u = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{d_{w2}}{d_{w1}}$$

Где се индекс "1" односи на мали зупчаник, а индекс "2" на велики зупчаник, а гоњени мали зупчаник, па је  $u = 1 / i$ .

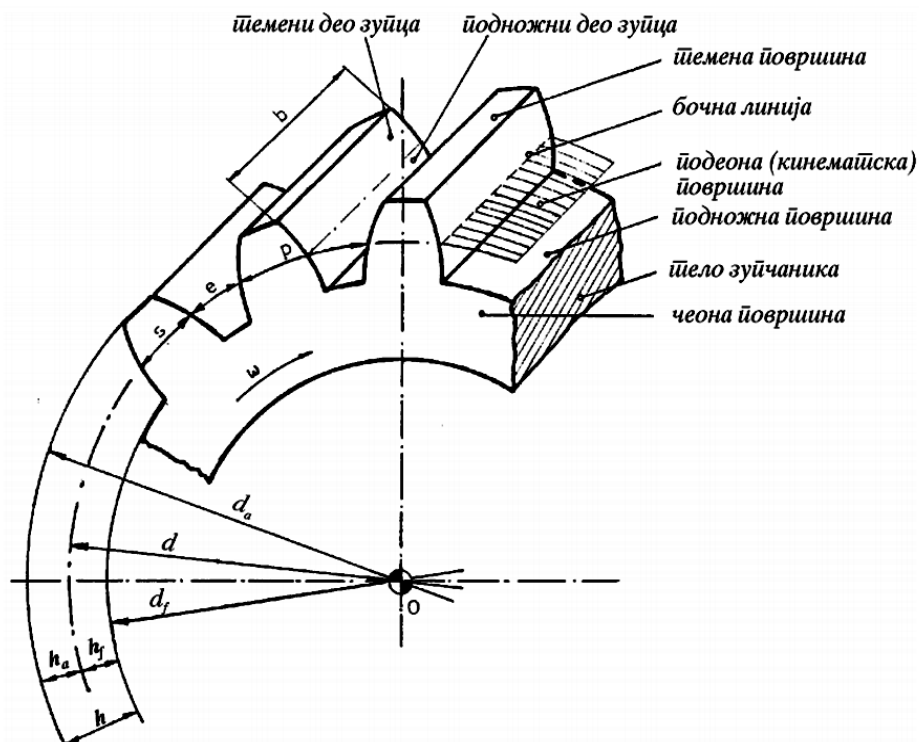
Мали зупчаник има мањи пречник, мањи број зубаца, мањи обртни момент и већу угаону брзину од великог зупчаника и обрнуто. Услед ових разлика, зупчасти парови, при преносу кретања и оптерећења, мењају њихове карактеристике, тј. врше одређену трансформацију тих величина. Трансформација је сразмерна преносном односу.

На зупчанику, као машинском елементу, уочава се тело зупчаника и венац са зупцима. Ознаке карактеристичних величина код зупчаника показане су на примеру цилиндричног зупчаника са правим зупцима, (*Слика 21*). Зупци су по висини ограничени теменом и подножном површином, а у аксијалном правцу, односно по дружини, чеоним површинама. Темена површина је дефинисана теменим цилиндром пречника  $d_a$ , подножна површина – подножним цилиндром пречника  $d_f$ . У пресеку подеоног, кинематског, теменог, подножног цилиндра и чеоних површина, добијају се одговарајући кругови (подеони, кинематски, темени и подножни). Простор између два суседна зуба је међузубље. Зупци и међузубља су ограничени левим и десним бочним површинама. Спрезање зубаца се врши преко бочних површина. Зупци су, подеоним цилиндром, подељени на темени део (глава зупца) висине  $h_a$  и на подножни део (нога зупца) висине  $h_f$ . Тако је укупна висина зупца  $h = h_a + h_f$ .

Зупчаници код којих је померање профила једнако нули имају једнаке подеоне ( $d_1, d_2$ ) и кинематске пречнике ( $d_{w1}, d_{w2}$ ).

Пречници основних кругова ( $d_{b1}$ ,  $d_{b2}$ ) могу да буду већи од пречника подножних кругова (нпр. **Слика 21**) или мањи од њих, што зависи од величине померања профила, броја зубаца и др.

Профил зупца је прсек бочне површине зупца и равни управне на оси обртања тзупчаника или прсек бочне површине и чеоне равни.



$b$  - ширина зупчаника;  $d_a$  - пречник темене кружности;  $d_f$  - пречник подножне кружности;  $d$  - пречник подеоне кружности;  $h$  - висина зупца;  $h_a$  - висина теменог дела зупца;  $h_f$  - висина подножног дела зупца;  $s$  - лучна дебљина зупца на подеоној кружности;  $e$  - лучна ширина међузубља на подеоној кружности;  $p$  - подеони корак;  $\omega$  - угла брзина.

**Слика 10.** Ознаке величина код цилиндричних зупчаника са правим зупцима<sup>20</sup>

Корак профила је лично растројање узастопних левих, односно десних бокова зубаца. Корак се најчешће мери на подеоном, кинематском и основном кругу зупчаника, али може да се мери и на било ком кругу. У зависности од тога потичу и називи за корак (подеони корак  $p$ , кинематски корак  $p_w$ , основни корак  $p_b$ , итд.). Обим подеоног круга, на пример, може да се изрази преко корака на подеоном кругу  $p$  и броја зубаца  $z$ .

$$O = p \cdot z = d \cdot \pi$$

Па следи да је перечник подеоног круга:

$$d = (p/\pi) \cdot z = m \cdot z$$

где је  $m = p/\pi$  модул зупчаника и представља основни параметар за прорачун скоро свих димензија зубаца и зупчаника. Да би број алата за израду и контролу зупчаника био сведен на минимум, модули су стандаризовани према стандарду SRPSM.C1.015.

<sup>20</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

Стандардне вредности модула дате су у Табели 1. Модули су распоређени у три степена приоритета (I, II и III). Првенствено, треба користити модуле првог степена приоритета. Модули другог степена приоритета употребљавају се само у оправданим случајевима, а модули трећег степена се користе само изузетно.

Такође, ради прорачуна и израде (мањи број алата), усвојено је да подеони корак буде вишеструка вредност броја  $\pi$ :

$$P = m \cdot \pi$$

Зупчаници који чине зупчасти пар (спрегнути зупчаници) имају исти модул и исти корак.

Подеони корак  $p$  је једнак збиру лучне дебљине зупца  $s$  и лучне ширине међузубља  $e$ :

$$P = s + e$$

Појам лучне дебљине зупца се, такође, повезује са одговарајућим кругом на коме се врши мерење ( $s$  је лучна дебљина зупца на подеоном кругу,  $s_w$  на кинематском кругу,  $s_b$  на основном кругу,  $s_y$  на произвољном кругу зупчаника).

**Табела 1. Стандардни модули<sup>21</sup>**

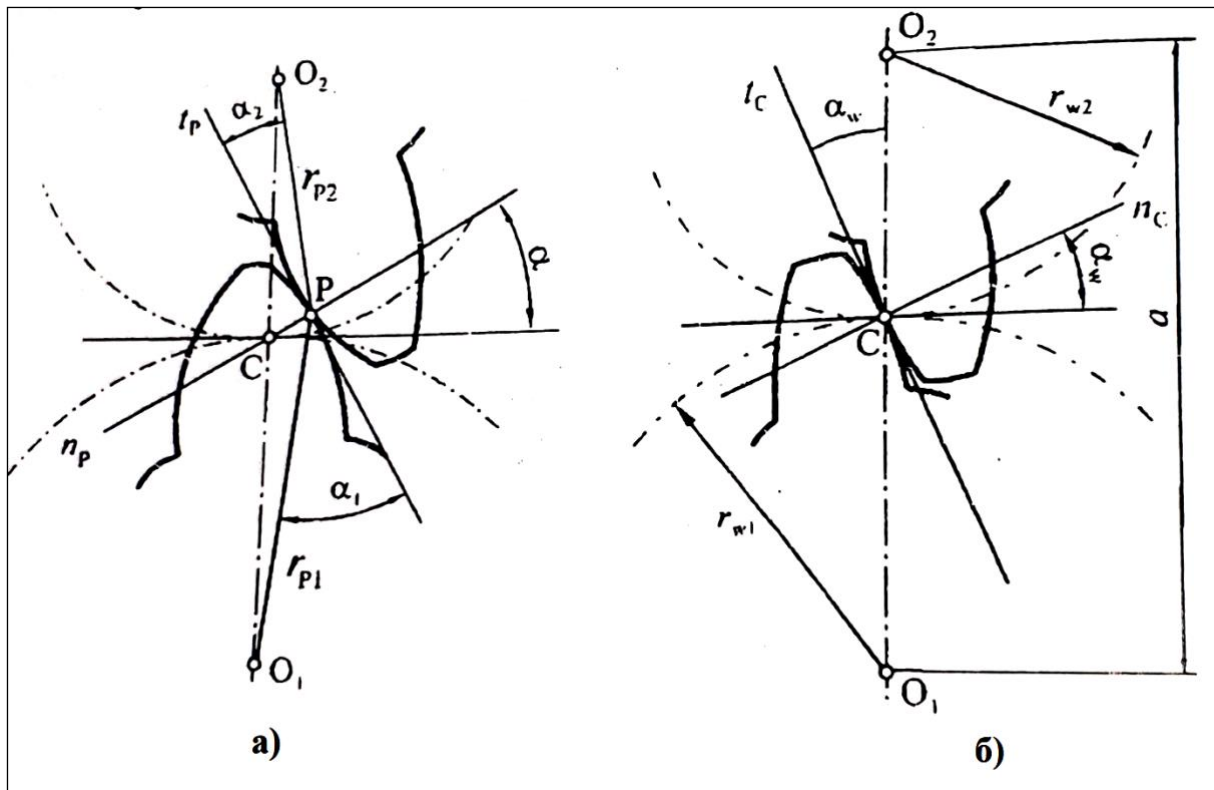
| Стандардни модули у mm |       |      |    |     |      |    |    |     |
|------------------------|-------|------|----|-----|------|----|----|-----|
| I                      | II    | III  | I  | II  | III  | I  | II | III |
| 1                      |       |      |    | 3,5 |      | 12 |    |     |
|                        | 1,125 |      | 4  |     | 3,75 |    | 14 |     |
| 1,25                   |       |      |    | 4,5 |      | 16 |    |     |
|                        | 1,375 |      | 5  |     |      |    | 18 |     |
| 1,5                    |       |      |    | 5,5 |      | 20 |    |     |
|                        | 1,75  |      | 6  |     | 6,5  |    | 22 |     |
| 2                      |       |      |    | 7   |      | 25 |    |     |
|                        | 2,25  |      | 8  |     |      |    | 28 |     |
| 2,5                    |       |      |    | 9   |      | 32 |    |     |
|                        | 2,75  |      | 10 |     |      |    | 36 |     |
| 3                      |       | 3,25 |    | 11  |      | 40 |    |     |

Неке од остањлих димензија зупчаника дате су у зависности од модула су:

- Висина главе зупца  $h_a = m$ ,
- Висина ноге зупца:  $h_f = h_a + c = (1,1 \dots 1,3) \cdot m$ , где је  $c = (0,1 \dots 0,3) \cdot m$ , темени зазор
- Лучна дебљина зупца:  $s = p/2 = m\pi/2$  (код непомерених профила)
- Лучна ширина међузубља на подеоном кругу се добија као разлика подеоног корака и лучне дебљине зупца:  $e = p - s$ , итд.
- Осно растојање код зупчастог пара зависи од модула  $m$ .

При спрезању два зупчаника остварује се котрљање без клизања замишљених кинематских цилиндара, али и контакт бокова спрегнутих зупаца. Тачка додира код погонског зупчаника помера се од подножја према темену, а код горњег зупчаника од темена ка подножју зупца. Део бока на коме се остварује контакт зубаца назива се активни део бока зупца. Остали делови површине бока зупца су мање значајни.

<sup>21</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004



Слика 11. Нападни углови<sup>22</sup>

Између бочне и подножне површине на зупцу налази се прелазно заобљење, а радијус заобљења зависи такође од модула  $m$ . Линија дуж које се додирују бокови спрегнутих зубаца је линија додира бокова зубаца. У свакој тачки додира може да се повуче заједничка нормала и заједничка тангента. Заједничка нормала у тачки додира зубаца је нападна линија бокова зубаца. Нападни углови ( $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ ) су углови између тангенте  $t_P$  повучене на бокове зубаца кроз тренутну тачку додира  $P$  и полупречника  $r_{P1}$ , односно  $r_{P2}$ , који спајају тачку додира зубаца са осама обртања зупчаника, (Слика 22).

Сваки зупчаник има свој нападни угао. Углове једнаке нападним угловима заклапа нормала  $n$  са тангентом повученом на кругове и пролазе кроз тачку додира. Захватни или додирну угао  $\alpha_w$  је угао између заједничке нормале у тренутној тачки додира зубаца и тангенте повучене на додирне кругове у кинематском полу  $C$ . У тренутку када се тачка додира зубаца поклопи са кинематским полом  $C$ , нападни углови једног и другог зупчаника су међусобно једнаки и једнаки другом углу. Додир зубаца у кинематском полу је погодан за математичко описивање па се многе анализе спрезања зубаца изводе за овај случај.

<sup>22</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

### 3.4 Вратила и осовине

#### 3.4.1 Основни појмови

Вратила и осовине су носачи других машинских делова, а преко лежаја су повезани са основом контрукције.

Осовине носе машинске делове који се обрћу или осцилирају, Сл. 6.2.2. Налазе примену као носачи точкова на вагонима, вагонетима, локомотивама, транспортним колицима, приколицама, код друмских возила, добоша за намотавање ужета или ланца при дизању терета, итд. Осовине преносе само уздужне и попречне силе и изложене су напону на савијање и затезање – притисак. Осовине не преносе снагу односно обртни момент.

Осовинице, Сл. 6.2.3., су кратке осовине и примењују се за остваривање зглобних веза. Осовинице или осцилују у ослонцима или мирују па други елементи осцилују око њих. Значајна примена осовиница је код парних машина, за везу укрсне главе са полугом, као и код мотора СУС, за везу клипа и полуге. Такође, примењују се за вођење и центрирање машинских делова, осигурање од преоптерећења, итд.

Вратила су носачи обртних машинских делова као што су: зупчаници, каишници, ланчаници. Фрикциони точкови, спојнице и др., Сл 6.2.4а и б. Вратила се најчешће обрћу, а ретко осцилују. Омогућавају обртање делова који се налазе на њима, спајање у функционалну целину и преношење оптерећења. За разлику од осовина, вратила, поред уздужних и попречних сила, преносе и снагу, односно обртни момент, па су изложена сложенем напрезању.

Сва брзоходна вратила и осовине са  $n < 15000/\text{min}$ , морају бити динамички уравнотежени.

Рукавци су делови вратила и осовина преко којих се врши ослањање на лежишта, (Слика 23). Вратила и осовине имају најмање по два рукавца. Дугачка вратила имају више ослонаца (више рукаваца). Најчешће се израђују изједна са осовинама и вратилима.

#### 3.4.2 Конструкциони облици рукаваца, осовина и вратила

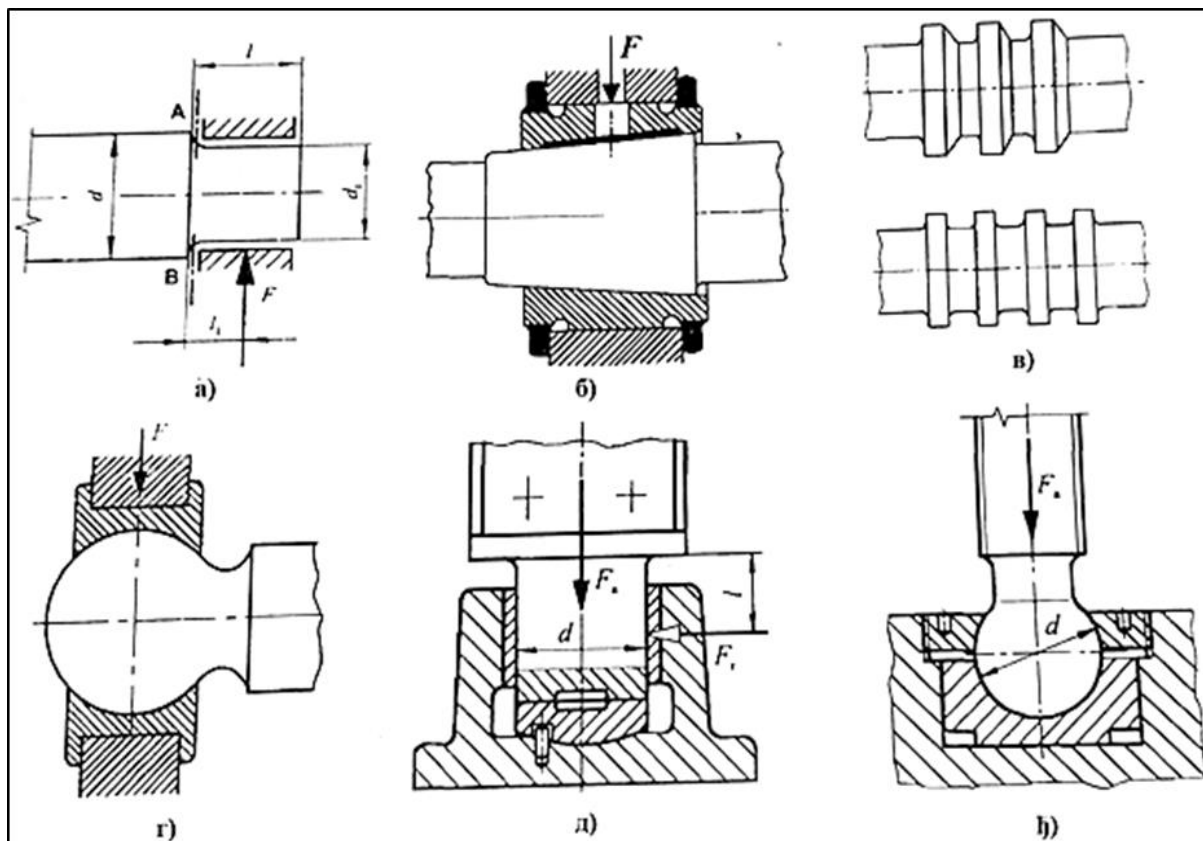
##### 3.4.3 Рукавци

Рукавци се према облику деле на цилиндричне, коничне, гребенасте, лоптасте и др; према правцу дејства силе на радијалне, аксијалне и радијално – аксијалне, (Слика 23). Према положају на вратилу или осовини, рукавци се деле на спољашње и унутрашње.

Цилиндрични рукавцу су најједноставнији за израду и највише се примењују, Слика 23 а и е. Цилиндрични рукавци су пуни или шупљи. Да би цилиндрични рукавац могао да прихвати и аксијалне силе поред радијалних, израђују се наслони на кеајевима рукавца. За веће аксијалне силе није довољан наслон па се примењују гребенасти рукавци ради повећања додирне површине Слика 23ц. Као конструкциона карактеристика цилиндричних рукаваца усваја се количник дужине пречника:  $\alpha = l/d$ ; ( $\alpha = 0,5 \dots 1,2$ ). Активна дужина рукавца је дужина контакта рукавца и постелице лежаја.

Коначни рукавци, Слика 23б, преносе радијалне силе и аксијалне силе у једном смеру; скуп су за израду и ректо се примењују. Цилиндрични и конични рукавци осцилују само око своје уздужне осе.

Лоптасти и полулоптасти рукавци, Слика 23 д и ф, имају више степени слободе кретањам али је њихова израда тешка и скупа.



**Слика 12.**Облици рукаваца: **а)** радијални цилиндрични, **б)** радијални конични, **в)** гребенасти, **г)** лоптасти радијални, **д)** радијално-аксијални цилиндрични, **ђ)** лоптасти аксијални<sup>23</sup>

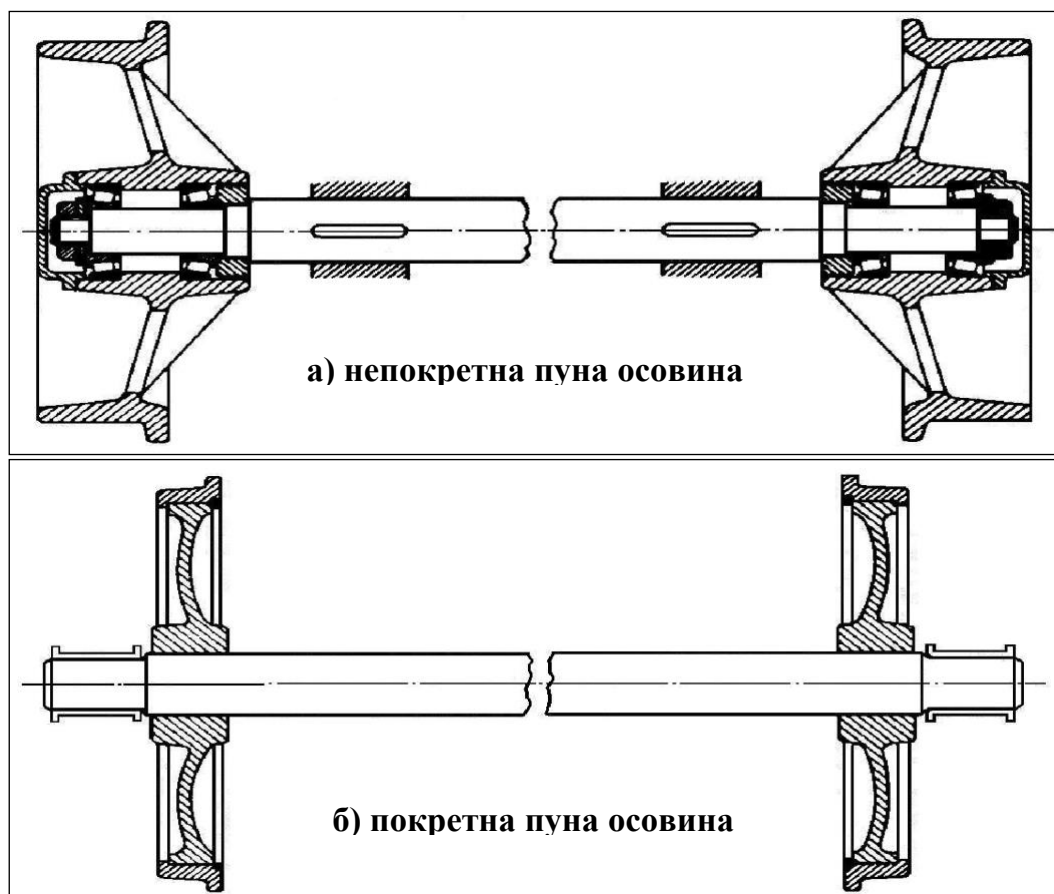
### 3.4.4 Осовине и осовинице

Основни конструкциони облици осовина дати су на **Слици 24**.

**Осовине** се обрћу или осцилују заједно са причвршћеним деловима (покретне осовине); ређе осовине мирују (непокретне осовине) када се делови постављени на њима обрћу или осцилују. Пример покретне осовине је вагонска осовина, **Слика 24б**. У овом случају точкови су напресовани на осовину и ротирају заједно са њом, а вагон се ослања на рукавце осовине, Слично је и код вагонета и локомотива. Код друмских возила осовина је непокретна, не обрће се и обично чје квадратног попречног пресека. На крајевима овакве осовине заварени су рукавци на које се наглављују точкови посредством котрљајних лежаја; тако главчина точка слободно ротира око рукавца осовине. Такође, осовине ручних колица су непокретне и точкови се обрћу око њих. Осовине на дизалицама су најчешће непокретне; добоши за ужад или ланце добијају погон од зупчаника и обрћу се око осовине.

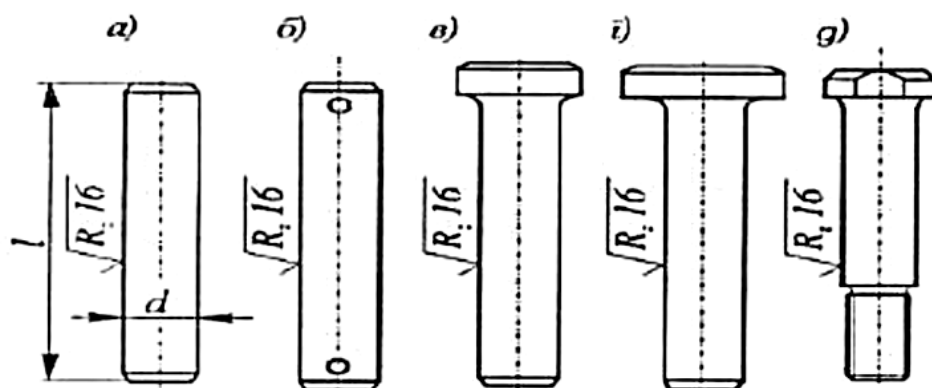
Даље се осовине деле на пуне, **Слика 24 а** и **б**, и шупље (осовине са центричним уздужним отвором).

<sup>23</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004



Слика 13. Примери осовина<sup>24</sup>

**Осовинице** могу бити пуне и шупље, круте и еластичне, без главе (облик а и б) (JUSM.C3.020; DIN 1444), са цилиндричном главом (облик в и г) или шестоугаоном главом (облик д) (JUSM.C3.60; DIN 1445). Прве две групе осовиница се најчешће користе за остваривање зглобних веза. Осовинице са шестоугаоном главом предвиђене су за остваривање чврстих веза спојених делова.



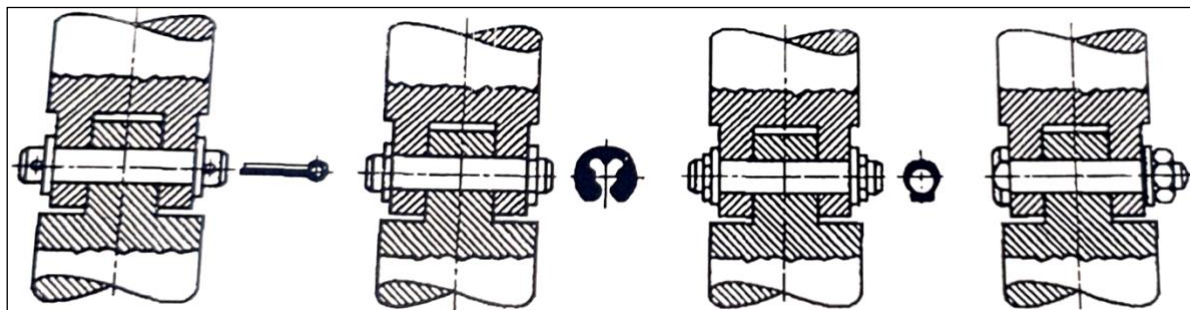
Слика 14. Конструкциони облици осовиница<sup>25</sup>

<sup>24</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

<sup>25</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

За номиналне пречнике  $d \leq 36\text{mm}$  осовинице имају исти називни пречник као и подешени завртњи који се много примењују као њихова замена. Осовинице се израђују од челика за цементацију и нитрирање.

Примери зглобних веза остварених помоћу основица као и начини осигурања осовиница од обртања и аксијалног померања, дати су на **Слици 26**.

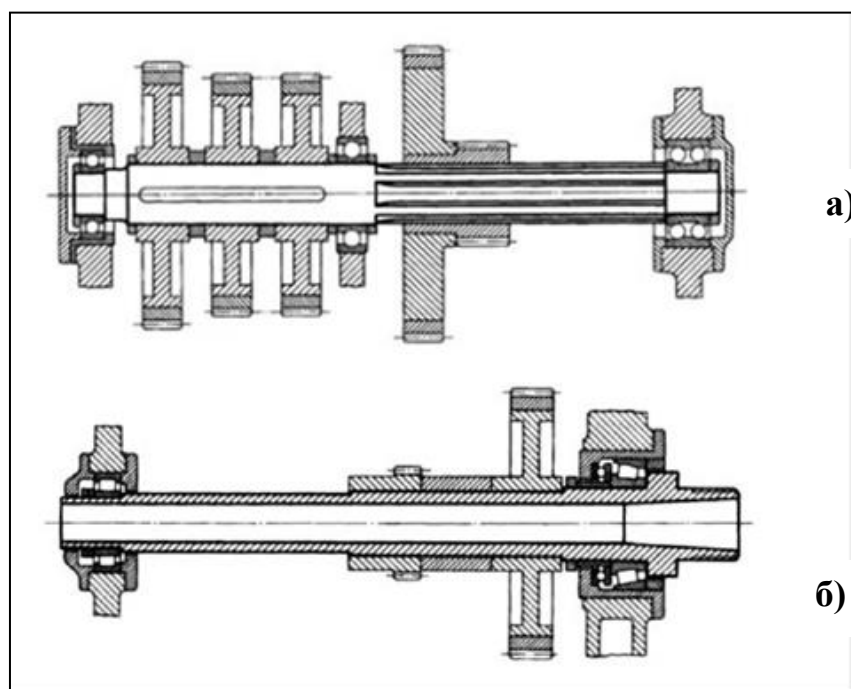


**Слика 15.** Примери зглобних веза и начина осигурања осовиница<sup>26</sup>

### 3.4.5 Вратила

Основна подела вратила је извршена према положају геометријске осе на права и коленаста.

Код правих вратила геометријска оса је права линија. То су вратила ротационих мотора (гасни, хидраулични, парни мотори), радна вратила на радним машинама (алатне машине, пумпе, компресори) и трансмисиона вратила (преносна, посредна вратила).



**Слика 16.** Примери правих вратила<sup>27</sup>

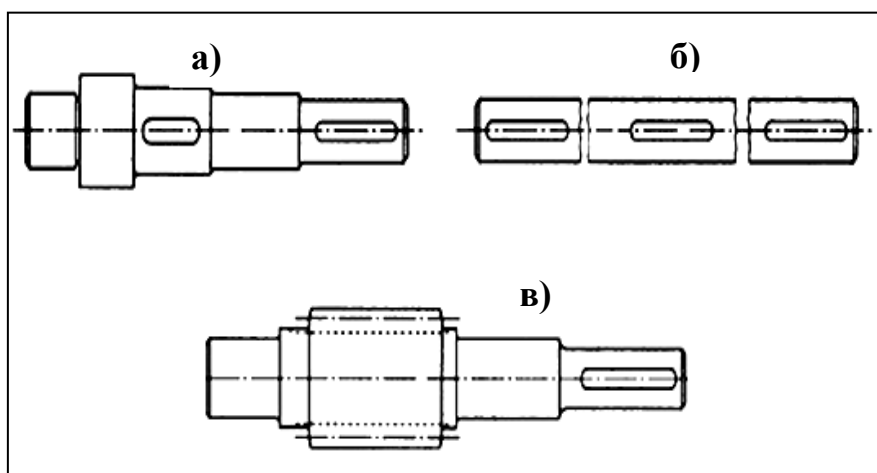
<sup>26</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

<sup>27</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

Основни облик правих вратила је: цилиндричан облик са променљивим пресеком по дужини – степенести облик, *Слика 27.* и *Слика 28 а и в.* Изузетно је попречни пресек константан по целој дужини вратила, то су тзв. Глатка вратила, *Слика 28б.* Код неких вратила делови могу бити израђени изједна са вратилом, на пример, вратило израђено изједна са зупчаником, *Слика 28в,* итд.

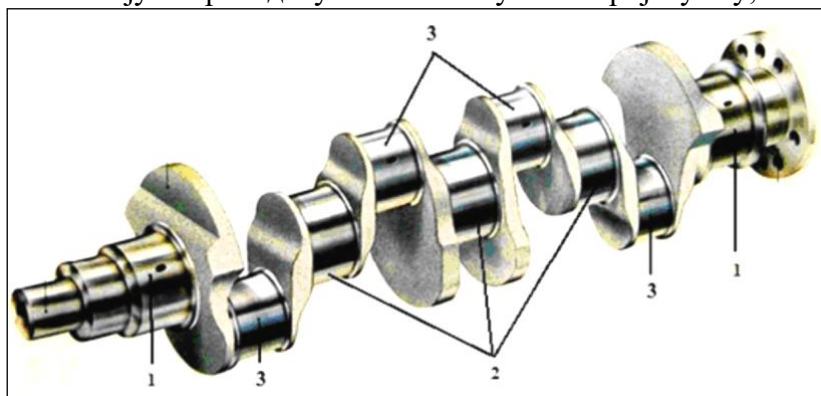
Поред кружног попречног пресека вратила могу бити: ожелебљена, *Слика 27а,* троугаоног попречног пресека или другог профилисаног облика. Ожелебљена вратила се примењују у градњи машина алатки, локомотива, трактора, аутомобилских и авионских мотора и уређаја. Користе се за већа оптерећења и аксијално померање дуж вратила. Применом вратила троугластог профила ублажава се концентрација напона присутна код вратила. Таква вратила се примењују, такође, код машина алатки.

Вратила могу бити пуна *Слика 27а* и *Слика 28* или са центричним уздужним отвором – шупља вратила, *Слика 27б.*



**Слика 17.** *Врсте правих вратила: а) степенасто, б) глатко, в) изједна са зупчаником*<sup>28</sup>

Код клипних мотора (парних, гасних и бензинских) користе се коленаста вратила. Коленаста вратила имају испрекидану – изломљену геометријску осу, *Слика 29.*

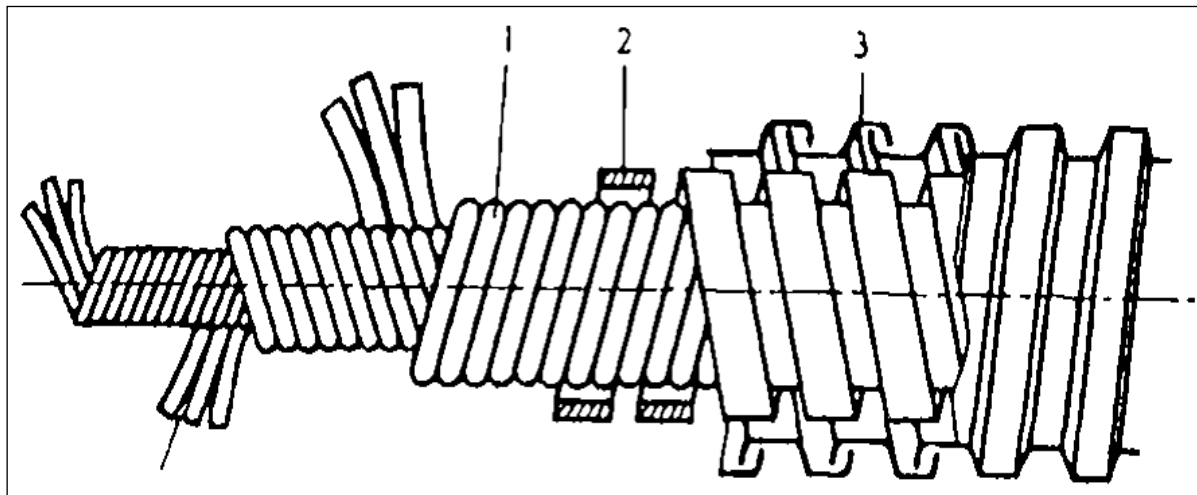


**Слика 18.** *Коленасто вратило клипног механизма мотора: 1, 2, 3 Рукавци*<sup>29</sup>

<sup>28</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

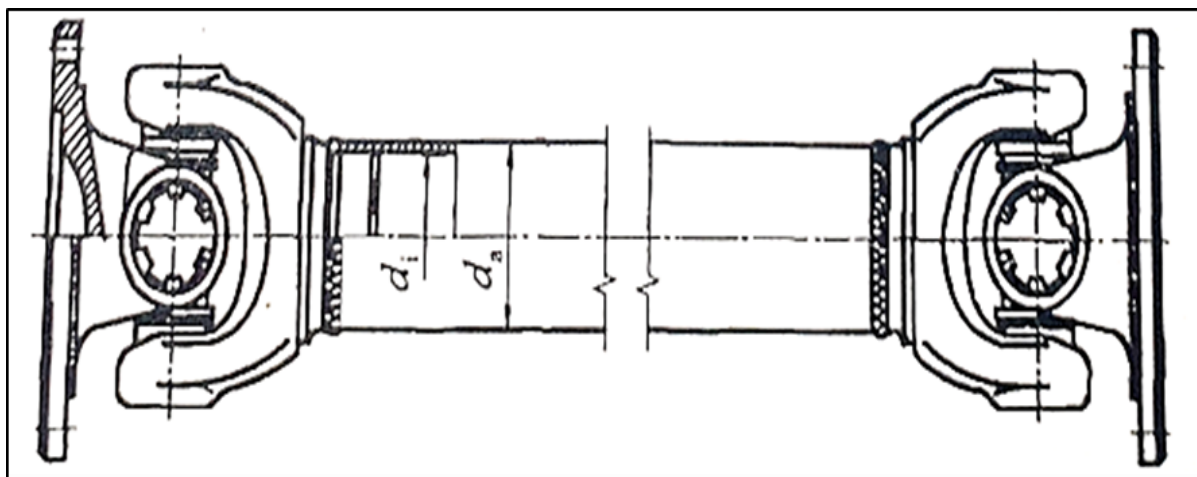
<sup>29</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

За пренос снаге између покретних погонских и радних агрегата употребљавају се савитљива (гипка) вратила, **Слика 30**. Састоје се од једне или више жица увијених у виду цилиндручних завојних опруга чији се завојци додирују. Савитљива вратила се примењују, на пример, код брушења покретним тоцилом, за бушење, у зуботехници, чишћење котловских цеви и др.



**Слика 19.** Савитљиво вратило  
(1-намотана жица, 2- челична трака, 3-заштитни омотач)<sup>30</sup>

За пренос великих обртних момената примењују се карданова вратила (италијанки физичар) **Слика 31**. Карданова вратила могу бити изведена као телескопска (телескопско међувратило). Примењују се код транспортних средстава, на пример, код теректних и шинских возила. Међувратило може бити и веће дужине када има могућност пригушења вибрација.



**Слика 20.** Карданско вратило<sup>31</sup>

<sup>30</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

<sup>31</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

### 3.4.6 Материјали за израду вратила и осовина

Избор материјала за израду вратила и осовина се врши на основу захтева у погледу чврстоће, издржљивости, тврдоће, осетљивости на неравномерну расподелу оптерећења, обрадљивости, трошкова израде и др.

Узимајући све ово у обзир, вратила и осовине се најчешће израђују од контрукционих челика, челика за побољшање и челика за цементацију. Ретко се користе вратила израђена од нодуларног лива. Код једноставнијих уређаја, за израду вратила користи се дрво.

Контрукциони челици St42-1 (Č0460), St50-2 (Č0545), St60-2 (Č0645) и St70-2 (Č0745) се често користе, без обзира на мању издржљивост, чврстоћу и тврдоћу у односу на друге челике, јер су јефтини и погодни за обраду.

Челици за побољшање су веће издржљивости, чврстоће и тврдоће. Користе се за израду високо оптерећених вратила (на промер, вратила турбина, тешких алатних машина, возила, мотора, преносника великих снага и др.) и осовина шинских возила. Веома много се примењују C35 (Č1430), C45 (Č1530) (мање напрегнуте осовине шинских возила) јер имају изванредне особине. Применом легираних челика, 37MnSi5 (Č3230), 41Cr4 (Č4131), 25CrMo4 (Č4730), 34CrMo4 (Č4731), 42CrMo4 (Č4732), 30CrMoV9 (Č4734) и др., знатно бољих карактеристика од нелегираних, обезбеђују се мање димензије вратила и осовина. Према стандардима, за израду локомотивских коленастих вратила и веома напрегнутих осовина за шинска возила, као обавезан материјал користи се 25CrMo4 (Č4730), а за рукавце и криваје 42CrMo4 (Č4732).

Вратила израђена од висококвалитетних легираних челика су мањих димензија. Међутим, због малих димензија, крутост вратила је, такође, мала. Зато у раду настају велике еластичне деформације, а код брзоходних вратила и динамичка нестабилност.

За израду брзоходних и високо оптерећених вратила користе се челици за цементацију SK10 (Č1121), SK15 (Č1221), 16MnCr5 (Č4320), 20MnCr5 (Č4321), 18CrNi8 (Č5421), 15CrMo5 (Č4720), 20CrMo5 (Č4721). Одликују се великом површинском тврдоћом и употребљавају се за израду вратила код којих су поједини делови (рукавци и др.) изложени интензивном клизању (на пример, брзоходна вратила и осовине код којих су у ослонцима уграђена клизна лежишта). Користе се и за израду вратила изједна са неким другим елементима (нпр., вратило изједна са зупчаницима и др.)

Уопштено, применом квалитетнијих материјала добијају се мање димензије вратила, али је њихова израда скупља.

Права вратила се израђују, најчешће, поступцима обраде метала резањем на стругу после чега следи обрада брушењем. Примењују се и поступци хладног извлачења за мање оптерећена вратила.

Степенаста вратила већих димензија и коленаста вратила израђују се поступцима ковања и обраде метала резањем.

Нарочита пажња се посвећује обради рукаваца, јер су они изложени трењу и хабању. Због тога се рукавцу подвргавају термичкој обради, после чега следи брушење а често и полирање.

### 3.5 Спојеви вратила и обртних делова

Спојеви вратила и обртних делова обезбеђују:

- Преношење оптерећења (сила и момената) са вратила на машинске делове и обрнуто,
- Положај обртних елемената у односу на друге делове склопа,
- Центрирање елемената у односу на осу обртања вратила.

Спојеви вратила и елемената се остварују:

- Посредством посебних елемената (веза клиновима и чивијама),
- Посебним обликом додирних површина (жлебни спојеви и спојеви профилисаних облика вратила и отвора у главчинама),
- Посредством отпора клизању (трења) на додирним површинама (радијално притезање, аксијално уклињавање и пресовани склопови).

#### 3.5.1 Спојеви клиновима

Веза остварена клином се убраја у „раздвојиве спојеве“, јер се веза лако раздваја без оштећења спојених делова и клина. Клинови се деле на уздужне и попречне у зависности од положаја и сила којима су изложени. Уздужни клинови могу бити без нагиба и са нагибом са једне стране. Попречни клинови се постављају попречно у односу на осу спојених делова. По правилу су са нагибом са једне стране или обе стране. Угао нагиба клинова је мањи од угла трења и преко отпора клизању преноси се обртни момент.

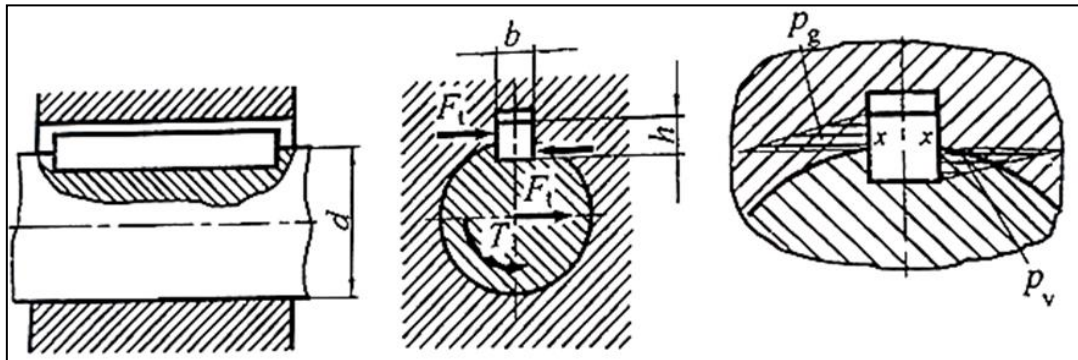
Највише се примењују уздужни клинови без нагиба. Примена осталих врста клинова је ограничена на специјална конструкциона решења машина и уређаја. Основни облици клинова су квадар и цилиндар.

Клинови се израђују од челика затезне чврстоће најмање 600 N / mm<sup>2</sup>. Тај услов задовољавају St50-2 (Č0535) и St60-2 (Č0645).

#### 3.5.2 Уздужни клинови без нагиба

Уздужни клинови без нагиба су призматичног облика. Постављају се у одговарајуће жлебове на вратилу и главчини машинског дела, **Слика 32**. Жлеб у главчини је веће дубине од оистиху зазор између темене површине клина и дна жлеба у главчини. Додир се остварује по бочним површинама жлебова и клина. Уздужним клиновима се повезују, са вратилом, зупчаници, каишници (ременице), замајци, полуге, ободи спојница, итд. Погодин су за мање и средње обимне брзине. Клинови без нагиба се примењују за померање машинског дела дуж вратила. Зато се често називају „клинови за вођење“. Клинови без нагиба се умећу слободно у жлебове за пренос мањих обртних момената и обимних силе. За веће вребисти обртног момента, клинови се причвршћују завртњима за вратило.

Стандардом је дефинисано више типова уздужних клинова и то према облику жлеба, зависно од начина израде. Ако се жлеб израђује вретенастим глодалом, клин и жлеб су са заобљеним крајевима (тип "А") или је само један крај заобљен, а други раван, за случај да је клин на крају вратила (тип "Ц"); у случају израде жлеба котурастим глодалом, крајеви клина могу бити равни (тип "Б"). Стандардима су, такође, предвиђене мале и велике висине  $x$  (дебљине). Основне димензије стандардних клинова велике дебљине (високи клинови- нормални клинови). Уздужни клинови без нагиба су највише заступљени у пракси. Клинови мале дебљине (ниски-плоснати клинови) се могу применити само за преношење мањих оптерећења.



Слика 21. Преношење обртног момента са клином без нагиба<sup>32</sup>

<sup>32</sup> Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

## 4 ВИДОВИ ХАБАЊА И ОШТЕЋЕЊА

### 4.1 Хабање

Хабање представља прогресивни процес губитка материјала елемената или делова машина који су у непосредном контакту и налазе се у релативном кретању. Као последица процеса хабања долази до истрошености делова машина, смањења ефикасности њиховог рада, потрошње енергије итд. Може се поделити на механичко и хемијско хабање.

Под механичким хабањем се подразумевају:

- адхезија
- абразија
- замор материјала
- ерозија

Под хемијским хабањем се подразумева:

- хабање као последица оксидације површине материјала
- хабање услед процеса корозије

#### 4.1.1 Адхезивно хабање

Адхезивно хабање представља основни вид хабања оптерећених површина које су у контакту. Појава овог вида хабања налази се у директној вези са трењем клизања, са контактом површина и адхезивним везама молекула тих површина.

До појаве адхезивног трошења долази код високооптерећених површина, код којих се, без обзира на присутно мазиво између њих, остварује контакт врхова неравнина. Разлог томе је висока вредност специфичног притиска на месту контакта, што доводи до цепања слоја мазива.

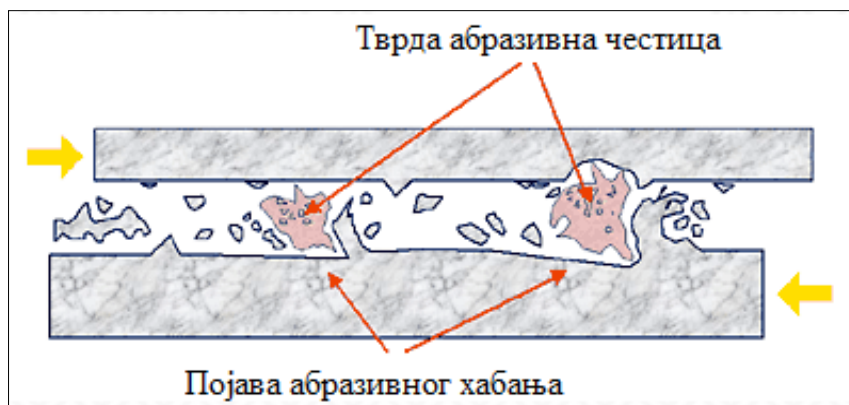


Слика 33. Шематски приказ адхезивног хабања<sup>33</sup>

<sup>33</sup> <http://www.maziva.org/podmazivanje/tribologija>

#### 4.1.2 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.

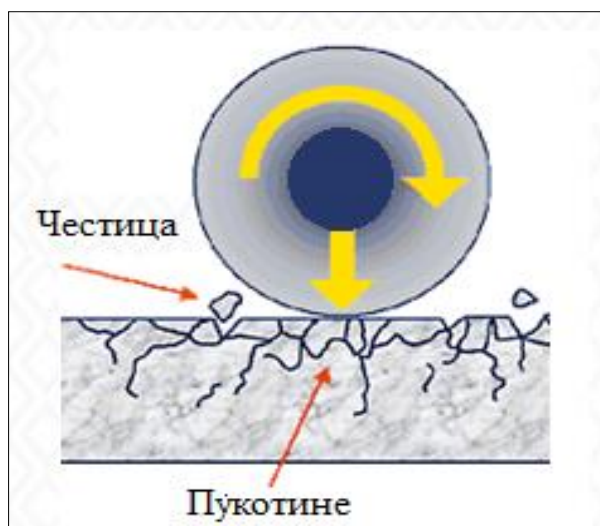


Слика 34. Шематски приказ абразивног хабања<sup>34</sup>

#### 4.1.3 Хабање услед замора материјала

Хабање услед замора се јавља у случајевима када се површине стално клижу или ваљају по истом путу. Циклуси променљивих оптерећења, као и напрезања на притисак и истезање могу проузроковати површинске и подповршинске пукотине.

Такође макро и микро неравнине као последица механичке или термичке обраде, погодују настанку површинских микропукотина. Пукотине се, нарочито услед променљивих оптерећења, прогресивно шире све до момента откидања ситних комадића материјала.



Слика 35. Шематски приказ хабања услед замора материјала<sup>35</sup>

<sup>34</sup> <http://www.maziva.org/podmazivanje/tribologija>

<sup>35</sup> <http://www.maziva.org/podmazivanje/tribologija>

#### 4.1.4 Ерозија

Ерозија настаје када се оштре честице неке чврсте материје залепе на једну од клизних површина. Често се погрешно упоређује с адхезијом. Основна разлика је у томе да је храпавост изазвана ерозијом површине далеко већа, а и механизам је различит. Може бити изазвана и вишеструким деловањем удара тока флуида, што се често јавља на лопатицама турбина и центрифугалних пумпи. Тако настала оштећења суперпонирају се ако флуид носи абразивне честице.

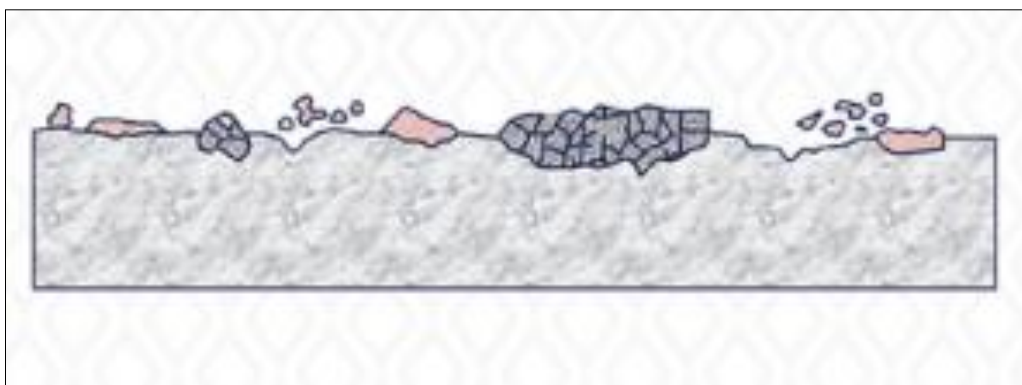
#### 4.1.5 Хабање услед оксидације

Хабање услед оксидације је механохемијски процес поступног разарања површина узрокован повезивањем активних пластично деформисаних површинских слојева с кисеоником. Танки слој металне површине, који је ступио у хемијску везу са кисеоником назива се оксидни слој или корозија.

Директна оксидација метала у нормалним условима у принципу не представља посебну опасност за површине. Када дебљина оксидног слоја није велика побољшавају се основне триболошке карактеристике површине, смањује се коефицијент трења и повећава тврдоћа површине. Супротно овоме, оксидни слојеви већих дебљина, могу створити проблеме зато што је нееластичан. Он пуца, па се ствара слој подложен хабању, а процес оксидације се проширује у дубину.

#### 4.1.6 Хабање услед корозије

Корозивно хабање је процес оштећивања површина које клизе у корозивној средини, при чему деловање корозивног медија може бити хемијско или електрохемијско, слика 36. У зависности од интензитета и степена захваћености површине, оно може бити непрекинуто или местимично прекинуто. Кад би површине мировале продукти корозије могли би на њима стварати секундарне заштитне слојеве. Клизањем се, међутим ти слојеви кидају и оштећују, па корозија може даље да се шири.



Слика 36. Шематски приказ хабања услед корозије<sup>36</sup>

---

<sup>36</sup> <http://www.maziva.org/podmazivanje/tribologija>

## 4.2 Номенклатура врста хабања и повреда зуба зупчаника

Данас је у научно-техничкој информацији присутна велика шароликост у терминологији триболошких процеса, па се тако једна те иста врста хабања назива различитим називима. Задњих година присутна је жеља за систематским сређивањем, па отуда и појава речника термина трења, хабања и подмазивања (у СССР, В. Британији и др.).

Изложена номенклатура врста хабања и повреда зуба зупчаника је за сада једина систематска анализа могућих врста хабања и повреда. Коришћењем ове номенклатуре могућа је успешна идентификација триболошких појава код зупчастих преносника.

### 4.2.1 Хабање:

- *Нормално хабање(полирање):* То је споро одвођење метала са контактних површина. Нормално хабање не утиче на рад преносника у интервалу времена за који је преносник конструисан.
- *Умерено хабање* је брже одвођење метала са контактних површина. Век зупчаника се смањује.
- Разорно хабање је повреда, разарање или измена облика површине зуба зупчаника услед хабања. При оваквом хабању знатно се скраћује век и нарушава равномерност рада зупчаника.
- Абразивно хабање је врста разорног хабање које се карактерише повредама контактних површина услед деловања прљавштине, механичких примеса у уљу или продуката хабања зупчаника и лежишта.
- SCRATCHING је тежа форма абразивног хабања које се карактерише огреботинама и кратким зарезима у правцу клизања.
- SCORING је брзо одвођење метала, изазвано кидањем малих делова, заварених при непосредном додиру контактних површина, Карактерише се дубоким браздама у правцу клизања.
- Подсецање зуба се јавља услед неправилног или нетачног спрезања. Најчешће се јавља у облику уских трака на којима је приметно интензивније хабање. Ова места су понекад прекривена и јамицама. У тежим случајевима јављају се и изражене бразде.
- Корозионо хабање је повреда зуба услед хемијског дејства киселих материјала, влаге или примеса садржаних у уљу. Најчешће се карактерише ситним јамицама које се губе током времена, али је при томе хабање врло интензивно.
- Љуспање је врста хабања при коме се са површине одваја метал у облику врло танких љуспица, а на контактним површинама остаје мала, мутна и храпава површина.
- Прегревање настаје као резултат дејства врло високих температура. Као последица ове појаве могу настати разни облици интензивног хабања.
- Иницијални Питинг се испољава у облику ситних јамица на додирници или нешто испод ње. Овај питинг није посебно опасан будући да га је лако одстранити, а осим тога практично је непрогресиван.

- Разорни Питинг се обично јавља испод додирнице. Број јамица, као и њихове димензије се непрекидно увећавају, што коначно доводи до повлачења зупчаника из употребе.
- Спалинг се карактерише љуспањем врха и бокова ивица зупчаника. Образоване прскотине су веће и дубље од јамица разорног питинга.
- Ваљање и ојачање се скоро увек јављају истовремено. Карактеришу се појавом гребена на врху и бочним ивицама зуба, деформисањем заобљења врха зуба, образовањем удубљења на погонском и гребена у зони додира гоњеног зупчаника.

#### **4.2.2 Пластично течење (Деформације површинског метала услед великог оптерећења)**

- Таласање се испољава у образовању таласастих гребена под правим углом на правац клизања. Јавља се углавном код цементираних, хипоидних погонских зупчаника.
- Образовање гребена(браздање) је чести случај пластичног течења. Карактерише се појавом гребена распоређених по до дијагонали контактне површине. У неким случајевима повреде имају стреласти облик у правцу клизања.

#### **4.2.3 Лом (под ломом се подразумева потпуни прелом зуба или прелом његовог већег дела)**

- Заморни лом је најраспрострањенији вид лома зуба. Испољава се у виду пукотине на оптерећеној страни зуба, обично у области ивице попречног пресека. Пукотина се шири дуж ноге зуба по дијагонали, све до потпуног лома.
- Лом услед превеликог хабања може настати као резултат интензивног питинга, љуспања или абразије.
- Лом услед преоптерећења најчешће настаје при деловању изненадних, веома високих оптерећења. Код тврдих и кртих метала, лом има изглед свиласте нити, а за жилаве метале изглед покиданих влакана.
- Каљена пукотина настаје као резултат концентрације унутрашњих напона при термичкој обради. Обично су изгледа капиларних пукотина које пресецају главу зуба или су смештене по радијусу заобљења ноге зуба.
- Пукотине услед брушења настају услед неправилне технологије брушења или нарушеног режима термообrade пукотине су узрок разорног лома, а у неким случајевима проузрокују разарање само контактне површине праћено љуспањем.

### **4.3 Најчешће врсте хабања зупчаника**

Номенклатура врста хабања и повреда зуба зупчаника пружа могућност за идентификацију бројних могућих врста хабања које се могу појавити при експерименталним испитивањима или у експлоатацији. Анализа бројних информација показује да се у нормалним условима експлоатације јављају углавном одређене врсте хабања. Зупчаници савремених авионских мотора раде у условима високих оптерећења и великих брзина. Њихови габарити су мали, а век трајања краћи, у оваквим условима, најчешће су појаве: скоринга, питинга и лома зупчаника. Зупчаници гасних турбина раде при температурама  $200 \div 250$ , а најчешће појаве су различите врсте скоринга.

На зупчаницима парних турбина који раде са нормалним оптерећењима и код којих се тражи дужи век трајања, не мањи од 100 хиљада часова, најчешће хабање је питинг. Аутомобилски зупчаници раде при високим оптерећењима, релативно мањим брзинама и са променљивим моментом увијања. Појава скоринга при нормалним оптерећењима је овде ређа. Главна и најчешћа врста хабања је питинг. Зупчаници локомотива раде са великим оптерећењима, променљивим моментом увијања и мањом брзином. Захтевани век трајања је реда 20.000 сати. Најчешће појаве су лом и скоринг на активним површинама.

Тракторски зупчаници раде са нешто мањим оптерећењима од аутомобилских зупчаника, али и са нешто већим фактором удара. Због услова у којима раде, изложени су утицаји атмосфере и појави абразивног хабања. Најчешћи облици хабања су питинг (52%) и абразивно хабање (30%) . Зупчаници машина алатки раде са умереним оптерећењем, а најчешћа врста хабања је питинг. Лако је уочити да је најчешћа врста хабања која се јавља код зупчастих преносника питинг, а да се остале врсте хабања и повреда јављају ређе и под одређеним условима. Занимљиви су подаци изнети на Међународној конференцији о зупчаницима, у Белгији 1956. По њима, у периоду од 1946-1956. год., појава питинга је представљала 90% од свих појава на индустријским и бродским зупчаницима.

#### **4.3.1 Заморно хабање (PITTING)**

Питинг је најчешћа а истовремено и најкарактеристичнија врста хабања зупчастих преносника. Интернационални назив питинг потиче од енглеске речи: „pit“-јамица и данас се под тим именом појављује у бројној светској литератури. У литератури руског говорног подручја понекад се ова врста хабања назива и „поверхностное выкрашивание“.

Прва изучавања питинга започета су 20-година овог века. Од тада па до данас, питинг је предмет бројних интересовања, истраживања и анализа. Феномен питинга привлачи пажњу великог броја научника и данас. Па ипак, бројни резултати и бројне информације показују да ова појава ни до данас нема потпуних одговора, зато даља изучавања из ове области представљају актуелну и веома интересантну проблематику.

У самом почетку изучавања питинга (двадесетих година нашег века), у техничкој литератури су се јављале различите теорије о природи настанка ове појаве. Наводимо неке:

- питинг се јавља услед заваривања и откидања честица
- узрок питинга су корозионе јамице као последица нагризајуће корозије
- узрок питинга је преоптерећење
- узрок питинга је губитак стабилности танког површинског слоја
- питинг се јавља услед унутрашњег оксидационог ефекта проузрокованог пластичним деформисањем површинског слоја, и др.

Током времена се као најприхватљивија и најправилнија показала теорија по којој се образовање питинга разматра као заморно разарање контактних површина услед деловања контактних напона.

У зависности од начина настајања, развоја, облика и утицаја на век трајања и поузданост зупчастих преносника, разликујемо иницијални и разорни питинг.

#### **4.4 Хабање као последица разарања мазивног слоја**

При већим оптерећењима, на контактним површинама активних површина зуба, настају посебни услови подмазивања. У слојевима мазива настају веома високи притисци услед чега вискозност уља нагло порасте. Оптерећење се једним делом преноси преко хидродинамичког слоја, а другим делом преко неравнина површинског слоја. Истраживања показују да при оваквом оптерећењу, дебљина мазива може бити мања од збира висина неравнина спрегнутих површина зато што под оптерећењем неравнине се еластично деформишу.

Између хидродинамичког подмазивања, када су спрегнуте површине у нормалним условима раздвојене релативно дебелим слојем уља и граничног подмазивања када су површине раздвојене адсорбованим слојем (из једног или неколико редова оријентисаних молекула) постоји низ прелазних састава. Вероватно, сва ова подмазивања се реализују уз присуство бројних неравнина.

Савремена стремљења конструктора: смањење габарита и маса машина, повлаци са собом и постепено повећање механичких и топлотних напона на контактним површинама зупчастих преносника. Сагласно са оваквим стремљењима и нормални рад савремених зупчаника потиче на граници могућег постојања контактнo-хидродинамичког слоја мазива

Месно разарање целовитости граничног мазивог слоја доводи до непосредног додира активних површина зуба зупчаника, а као резултат таквог спрезања настају различите повреде зуба, различите по интензитету, испољавању и утицају на даљи рад зупчаника.

Различити су узроци нарушавања целовитости мазивог слоја, а основни би били:

- одвећ високо загревање уља у његовом површинској слоју
- примена непогодних уља (на пр. недовољног вискозитета)
- недовољна количина уља при подмазивању
- недовољни квалитет радних површина зуба
- велика оптерећења.

Као последица разарања слоја мазива могу настати различите врсте хабања, од којих је најкарактеристичнија а истовремено и најопаснија сцоринг. Сцоринг се може појавити у више различитих облика који су у литератури енглеског језичког подручја познати под именом: „cold welding“, „scuffing“, „seizing“, „galling“, итд.

#### **4.5 Фактори који утичу на хабање зупчастих преносника**

Хабање зупчастих преносника зависи од великог броја различитих фактора: физичких, хемијских и механичких својстава самог материјала, хемијско-термичке обраде, карактеристика подмазивања, агресивности средине, температуре, топографије контактних површина, радних услова (брзине и оптерећења), типа преносника, механичке обраде (претходне и завршне) и др.

Велики број фактора као и њихова комплексна повезаност отежавају квантификацију њихових утицаја. Веома често промена и само једног параметра изазива ланчану промену и многих других. Све ово отежава истраживања у овој области па зато данас располажемо веома оскудним информацијама о утицају појединих фактора на хабање зупчастих преносника.

## 5 ПРИМЕРИ ХАБАЊА И ОШТЕЋЕЊА И РЕГЕНЕРАЦИЈА ДЕЛОВА МАШИНА И УРЕЂАЈА

### 5.1 Израда навртке са трапезним навојом 18x4L:

На *Слици 37* приказана је специјална навртка која се у пракси користи за померање фирунга на блањалици за дрво. Обзиром да су услови рада у којима се овај технички систем налази јако неповољни, дошло је до оштећења навоја на поменутој навртки. Тачан узрок овог отказа је тај што је приказана навртка у току експлоатације изложена неповољном утицају пиљевине која се таложи на навојно вретено када се навртка не креће. Још један од узрока је лоше подмазивање јер за овај навојни пар није предвиђено централно подмазивање већ то раде руководиоци машине који често забораве на то. Једини начин уклањања насталог отказа јесте израда нове специјалне навртке.



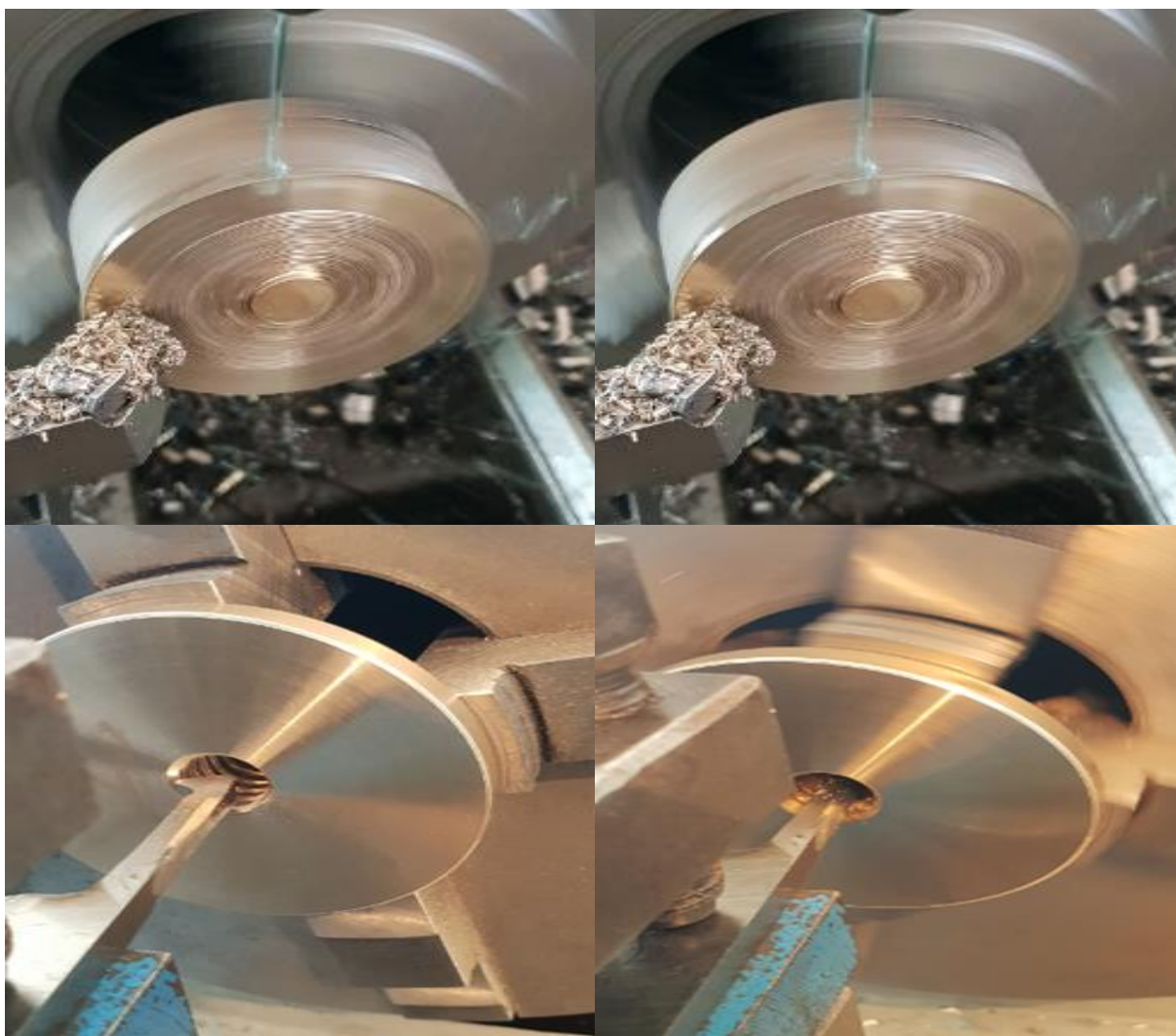
**Слика 22.** Специјална навртка за померање фирунга на блањалици за дрво

На почетку планирања израде нове навртке полази се од избора материјала. Након избора материјала следе:

1. Мерење димензија старе навртке помоћу помичног кљунастог мерила, како би одредили димензије материјала за израду нове навртке,
2. Одсецање на меру материјала за нову навртку помоћу тестере за сечење метала „Форте“,
3. Позиционирање обратка у стезну главу на универзалном стругу „Потисје Ада ПА 631“,
4. Обрада навртке стругарским ножем за спољашњу обраду „П 30“, на меру узету са узорка (старе навртке) (Слика 38.),
5. Бушење отвора бургијом  $\phi 16$ , затим обрада отвора на меру стругарским ножем за унутрашњу обраду „П 30“,
6. Резање унутрашњег трапезног навоја профилисаним ножем, ручно израђеним од стирије, на предмету, након чега се навој урезује ручно помоћу урезника “Тр 18x4(L)” (Слика 39.).



**Слика 38.** Избор одговарајућег материјала за израду навртке и почетак стругарске обраде



**Слика 39.** Израда трапезног навоја 18x4



**Слика 40.** *Стара и нова навртка*

## 5.2 Израда зупчаника Z=40

Као што се може видети на Слици 41., на зупчанику који се у пракси користи као читач „ABS-а“ на аутомобилу марке „chevrolet aveo“ из неутврђених разлога дошло је до оштећења 5 зуба зупчаника. Обзиром да је габарит зупчаника мали, и да је неисплативо репарирати постојећи зупчаник, израда новог зупчаника била би најбоље решење за уклањање овог отказа.



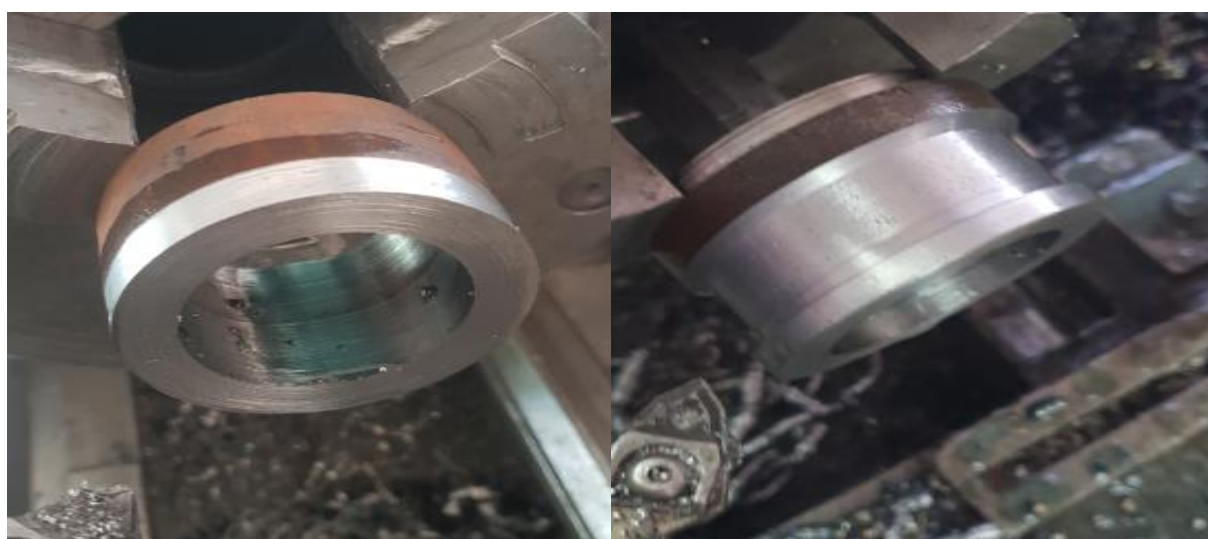
Слика 41. Зупчаник (читач „ABS-а“)

Након одабира одговарајућег материјала, следи:

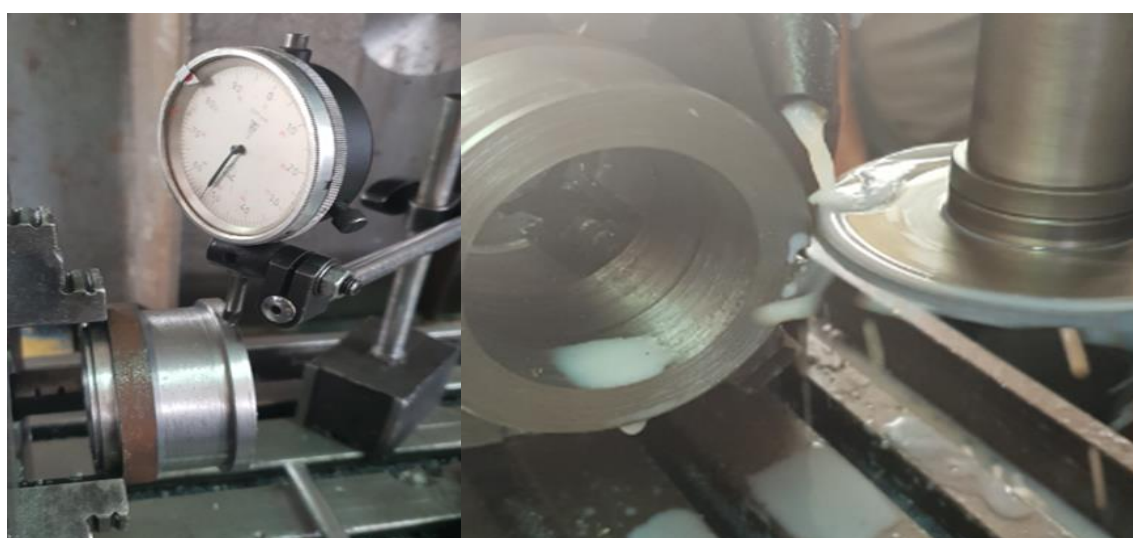
1. Спољашња обрада новог зупчаника на меру теменог пречника на универзалном стругу „Потисје Ада ПА 631“ користећи нож за спољашњу обраду са плочицом (Слика 43.),
2. Центрирање обратка уз помоћ компаратера и израда зуба зупчаника на универзалној глодалици „Првوماјска УГ1“ помоћу глодала (мод. 0,75-пр.5), Слика 44.
3. Обрада отвора на универзалном стругу ножем за унутрашњу обраду „П 30“, на меру отвора узету са узорка,
4. Одсецање обратка (новог зупчаника) на универзалном стругу помоћу ножа за сечење (стиријски нож, ручно израђен), Слика 45.



**Слика 42.** *Оштећени зупчаник*



**Слика 43.** *Спољашња обрада на универзалном стругу*



**Слика 44.** *Израда зуба зупчаника*



**Слика 45.** Унутрашња обрада и сечење обратка



**Слика 46.** Нови и оштећени зупчаник

### 5.3 Репарација „крајева“ баланс штангле

Приликом редовног сервиса камиона марке „Merces Benz Actros“ уочено је да је зазор између силен блока и краја баланс штангле знатно већи од предвиђеног. Обзиром да овај део техничког система утиче на стабилност, управљање и кретање самог камиона, долази се до закључка да се тај отказ мора што пре решити. Чињеница да нова баланс штангла превазилази цену од 100.000,00 динара довела нас је до другог решења, које не представља куповину нове.

На слици 47 приказан је зазор између краја баланс штангле и силен блока. Како би се тај зазор елиминисао, прелази се на иновативно решење овог проблема које се састоји из следећих корака:

1. Позиционирање, центрирање и везивање оштећеног дела баланс штангле за радни сто глодалице (Првوماјска УГ1) коришћењем хидрауличне стеге,
2. Обрада оштећених крајева на одређену меру коришћењем ексцентар главе у ком је фиксиран нож за унутрашњу обраду на стругу „П 30“ (Слика 48.),
3. Избор одређеног материјала за израду чауре којом се редукује зазор између силен блока и краја баланс штагле (нова мера добијена обрадом на глодалици),
4. Израда чауре на универзалном стругу „Потисје Ада ПА631“: (Слика 49.)
  - а. Бушење материјала бургијом
  - б. Обрада отвора на одговарајућу меру (пречник обрађеног краја баланс штангле) стругарским ножем за унутрашњу обраду „П 30“
  - с. Обрада ножем за спољашњу обраду „П 30“ на меру отвора силен блока
  - д. Одсецање на меру стугарским ножем за сечење (нож израђен од стирије),
5. Монтирање чауре (ручно) (Слика 50.).



**Слика 47.** Зазор између баланс штангле и силен блока



**Слика 48.** *Обрада крајева баланс штангле*



**Слика 49.** *Израда чауре*



**Слика 50.** *Монтажа чауре*



**Слика 51.** *Репарирана баланс штангла*

#### **5.4 Пример репарације полуосовине**

На слици 52 је приказана полуосовина трактора произвођача „Раковица“. Као што је уочљиво на слици, дошло је до прелома исте на озубљеном делу. Како би технички систем што пре довели у радно стање, најједноставније решење представља замена полуосовине, и уградња нове. Узимајући у обзир да је цена нове полуосовине преко 50000 динара, овај отказ се решава репарирањем постојеће полуосовине.

Осовину ћемо репарирати изработом новог ожлебљеног дела полуосовине и ваћањем старе канце у следећим корацима:

1. Избор материјала за нову полуосовину,
2. Обрада на универзалном стругу „Потисје Ада ПА 631“ ножем за спољашњу обраду „П 30“ (Слика 53.),
3. Израда жлебова на глодалици („Првомајска УГ1“) помоћу одговарајућег глодала (Слика 54.),
4. Термичка обрада(цементација),
5. Брушење полуосовине на брусилци за округло брушење („Ливница Кикинда Ц12У-1600“ ) на меру узету са узорка (Слика 55.),
6. Уклањање канце са старе полуосовине: (Слика 56.)
  - а. Бушење до одређене дубине одговарајућом бургијом
  - б. Обрада отвора канце ножем за унутрашњу обраду
  - с. Одсецање канце ножем за сечење („П 30“),
7. Монтирање канце (Слика 57.),
8. Везивање канце за нову осовину електролучним заваривањем (Слика 58.),
9. Финална обрада (скидање оштрих ивица турпијом, брушење ручном брусилцом).



**Слика 52.** Сломљена полуосовина



**Слика 53.** Стругарска обрада



**Слика 54.** *Израда жлебова*



**Слика 55.** *Брушење*



**Слика 56.** *Уклањање канџе*



**Слика 57.** Монтирање канџе



**Слика 58.** Везивање канџе



**Слика 59.** Репарирана полуосовина

## 5.5 Репарација осовине

На слици 60 је приказана оштећена осовина редуктора техничког система који се користи за производњу пелета. Може се уочити да је на делу осовине где је позициониран лежај дошло до спољашњег оштећења исте. Самим тим, редуктор губи своју првобитну функцију, и машина прелази у стање „у отказу“. Обзиром да је похабан део осовине једини узрок отказа, репарација представља најбрже решење проблема, како би овај систем што пре вратили у стање „у раду“. То подразумева наношење додатног слоја материјала на оштећени део осовине, након чега следи обрада на одговарајућу меру, како би осовина вратила своју функцију, а састоји се из следећих корака:

1. Мерење пречника оштећеног дела осовине помичним кљунастим мерилом, како би одредили потребну дебљину наношења додатног слоја,
2. Одабир технологије наношења додатног слоја материјала (наваривање) на основу потребног квалитета обрађене површине,
3. Припрема осовине, заштита површина које нису оштећене, како не би дошло до оштећења истих приликом наваривања (Слика 61.),
4. Уздужно наваривање осовине МИГ апаратом (CO<sub>2</sub>) произвођача „Кемпи“ (Слика 62.),
5. Позиционирање осовине на универзалном стругу „Потисје Ада ПА 631“ (Слика 64.),
6. Обрада нанетог слоја материјала на одговарајућу меру на универзалном стругу „Потисје Ада ПА 631“ ножем за спољашњу обраду „П 30“ (Слика 65.).



**Слика 60.** Оштећена осовина редуктора



**Слика 61.** Припрема осовине за наваривање



**Слика 62.** Наношење додатног слоја материјала (Наваривање)



**Слика 63.** Необрађена осовина



**Слика 64.** *Позиционирање осовине*



**Слика 65.** *Стругарска обрада*



**Слика 66.** *Репарирана осовина*

## 6 ЗАКЉУЧАК

Обзиром да у данашње време одржавање представља велики значај у свим гранама привреде, могућност регенерације одређеног машинског дела који је у отказу представља велику предност.

Самим тим, појам „корективног одржавања“ добија на значају, јер проблем може бити набавка новог дела, у случају да је тај део специфичне природе, и није га могуће набавити. Репарација постојећег, оштећеног дела, представља једино могуће решење.

Поузданим информацијама о конструктивним елементима машине као што је на пример коефицијент трења материјала одређеног елемента, унапред можемо знати шта нас очекује у току експлоатације одређених техничких система. Самим тим, скраћујемо време избора врсте материјала за израду одређеног елемента.

У четвртом поглављу осим номеноклтуре врсте хабања и повреда зуба зупчаника, описан је и најчешћи вид разорног хабања зупчастих преносника, „pitting“. Такође је описан процес непожељног уклањања мазивног слоја који настаје при посебним условима рада.

Самим тим долазимо до закључка да сама репарација машинских елемената и делова није довољна како би технички системи где се ови елементи користе имали дужи век трајања. Правовременим подмазивањем ових елемената, смањује се хабање као и потреба за регенерацијом истих.

## 7 ЛИТЕРАТУРА

- [1] Др Слободан Танасијевић, *Основи трибологије машинских елемената*, Научна књига, Београд 1989.
- [2] Проф. Др Вера Николић, *Машински елементи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004.
- [3] Петар Тодоровић, *Основи одржавања*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2016.
- [4] Б. Тасевски, Б. Момиров, *Репаратура вратила поступком метализације*, Београд 2004.
- [5] Славољуб С. Ракић, *Производно и репаратурно наваривање радних делова уређаја и опреме у кониторској индустрији*, Магистарски рад, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2014.
- [6] <http://www.maziva.org/podmazivanje/tribologija/>