

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Основне академске студије
Модул: Производно машинство
Предмет: Машине алатке
Број индекса: 47/2016

Никола Н. Которчевић Анализа обраде озубљењем -завршни рад-

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Богдан Недић - ментор
2. _____
3. _____

Датум
одбране: _____

Оцена: _____



**Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука**



Основне студије: **Машинско инжењерство**

Студијско подручје (усмерење): **Производно машинство**

Име и презиме: **Никола Которчевић**

Број индекса: **47/2016**

ПРИЈАВА ЗАВРШНОГ РАДА

Тема рада: **АНАЛИЗА ОБРАДЕ ОЗУБЉЕЊЕМ**

Задатак: У оквиру завршног рада кандидат треба да изврши прикупљање и систематизацију података о обради озубљењем. Потребно је описати у посебним поглављима технологије обраде у појединачној и серијској производњи, алате и машине за поједине технологије обраде.

У посебном делу завршног рада описати машину за израду зупчаника одвалним глодањем којом располаже Факултет.

Ментор:

Др Богдан Недић, редовни професор

Крагујевац, 25.04.2019.

Садржај

РЕЗИМЕ	4
SUMMARY	4
1. УВОД	6
2. ЗУПЧАНИЦИ	7
2.1. Геометрија зупчастих преносника	10
3. ИЗРАДА ЗУПЧАНИКА	13
3.1. Израда зупчаника глодањем	13
3.2. Израда зупчаника рендисањем	23
3.3. Израда зупчаника провлачењем	29
3.4. Обрада зупчаника брушењем	30
3.5. Обрада зупчаника љуштењем	33
3.6. Обрада зупчаника полирањем	34
4. ИЗРАДА ЗУПЧАНИКА НА МАШИНИ ЗА ОЗУБЉЕЊЕ	35
5. ЗАКЉУЧАК	45
Литература	47

РЕЗИМЕ

У овом завршном раду су описани процеси израде зупчаника. У њему је приказан значај, параметри и различите врсте зупчаника. Извршена је подела зупчаника у одговарајуће групе на основу њиховог облика зуба и положаја на вратилу. Описане су најчешће коришћене величине зупчаника са правим зупцима. Анализиране су различите методе претходне и завршне обраде зупчаника. Приказани су процеси производње зупчаника уз помоћ различитих технологија, машина и алата. За сваку од наведених технологија описана су главна и помоћна кретања алата и предмета обраде, као и њихове специфичности. Обрађени су процеси израде зупчаника: глодањем, рендисањем, провлачењем, брушењем, љуштењем и полирањем. У последњем делу рада изложена су практична решења израде зупчаника која се могу видети у радионицама.

Кључне речи: *зупчаници, процес израде, машина, алат*

SUMMARY

In this piece is described the processes of gear making. It presents importance, parameters and all kinds of gears. Gears are sorted in appropriate groups by their shape or position on shaft. Most used dimensions of standard gear are described, as well. Different methods of gear making are analyzed. Processes of gear manufacturing is analyzed, as well, with usage of the different technologies, machines and tools. Primary and secondary movements of tools and workpieces are presented for every technology. Processes that are analyzed are milling, planing, broaching, grinding, peeling and polishing. It provides the practical solutions of gear making that can be seen in common workshop in Serbia.

Key words: *gears, making proces, machine, tool*

1. УВОД

Зупчаници су преносници снаге и кретања који раде по принципу директног контакта. Могу се срести у свим сегментима свакодневног живота и у различитим димензијама. Њихова величина може бити таква да се могу сместити у ручне сатове или толика да могу покретати покретне кровове стадиона. Сусрећу се у свакодневним кућним уређајима, у уређајима за прецизна мерења, у превозним средствима, као и у многим другим сферама живота. Представљају најраспрострањеније механичке преноснике, зато што их одликује висока поузданост у раду и тачан преносни однос. Оно што чини зупчанике поузданијим у односу на друге врсте преносника је њихова специфичност облика која омогућава њихово добро спрезање. Ова специфичност облика представља проблематику која у себи укључује одређивање најповољније вредност одговарајућих параметара зупчаника, начин израде зупчаника, изглед самих алата за израду, машине на којима се зупчаници израђују, материјал... Нека од решења за наведене проблеме су обрађена у раду.

У раду су дати најзаступљенији конвенционални начини израде зупчастих преносника са скидањем струготине. Описани су зупчаници као преносници снаге и кретања, њихове главне карактеристике и њихове поделе у одговарајуће групе.

Обухваћени су називи поступака обраде зупчаника, са описом главних и помоћних кретања алата и предмета обраде, као и сам изглед алата потребних за израду захтеване врсте зупчаника. Извршена је анализа израде зупчастих преносника у процесима: глодања, рендисања, провлачења, као и накнадне обраде: брушења, љуштења и полирања.

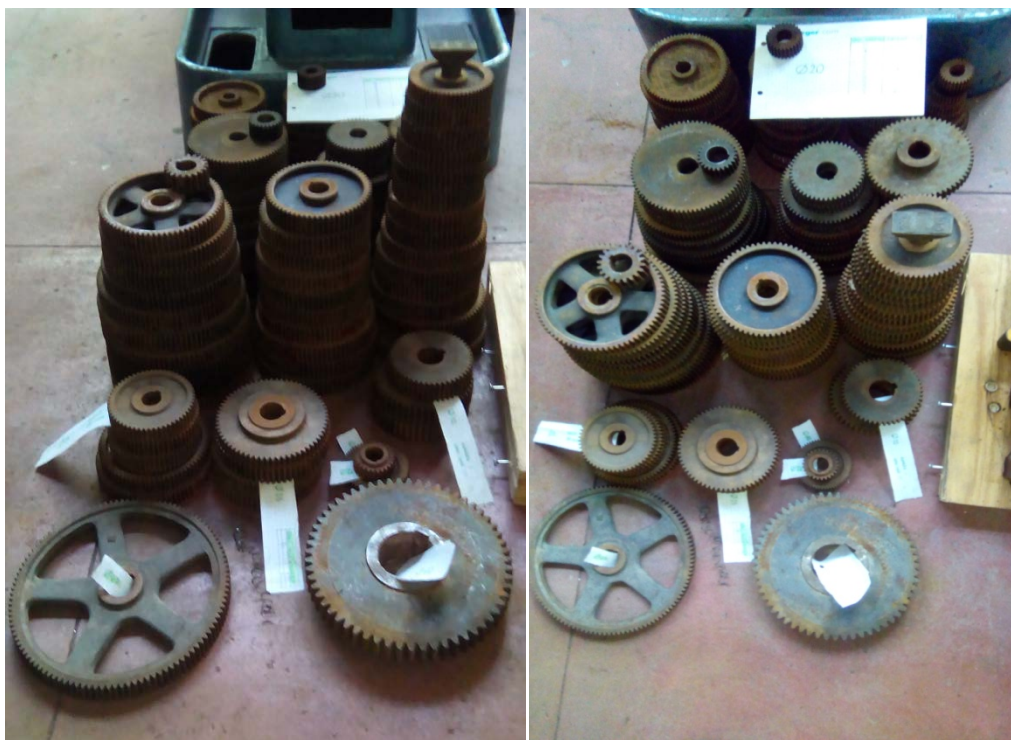
Дата је и одговарајућа подела одређених процеса на методе које се у оквиру њих примењују, као и машине на којима се остварују. У оквиру процеса израде зупчаника глодањем описане су методе: Пфаутер, Глизон, Клингелнберг, Фиат-Мамано и Ерликон. Методе израде зупчаника рендисањем, описане у раду, су: Фелоуз, Маг, Ерликон, Хајденрајх и Харбек, Билграм и Глизон.

Израда зупчастих преносника провлачењем је описана кроз рад машине Ривасајкл, док су процеси брушења описани методама: Минерва, Окурт, Нилес, Колб, Маг и Рајсхауер.

На самом крају рада дат је опис израде зупчаника у реалним животним условима, на основу искустава људи запослених у самосталној алатничарској радњи.

1. ЗУПЧАНИЦИ

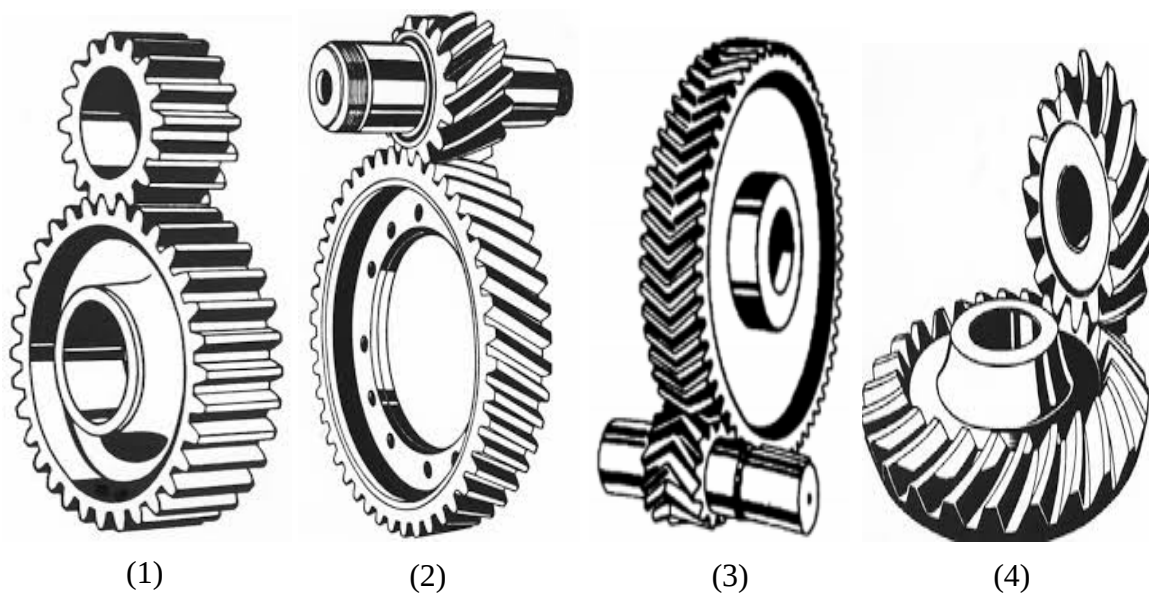
Зупчаници (слика 1.) представљају чврсте механичке преноснике који своју функцију преноса остварују путем своје везе обликом, међусобним спрезањем зубаца између два зупчаника. Врши се пренос обртног момента и кретања са једног вратила на друго, али се током тог процеса одвија и одређена трансформација бројева обртаја и обртног момента. Најједноставнији облик зупчастог преноса се може демонстрирати кроз зупчасти пар који је састављен од два међусобно спрегнута зупчаника. Један од ова два зупчаника је увек погонски, а други погоњени, у зависности од тога да ли се налази на погонском или погоњеном вратилу. Осим спреге између два зупчаника, могу се јавити и други видови зупчастих преносника, као што је на пример спрезање зупчаника и зупчасте летве [5].



Слика 1. Изглед зупчаника

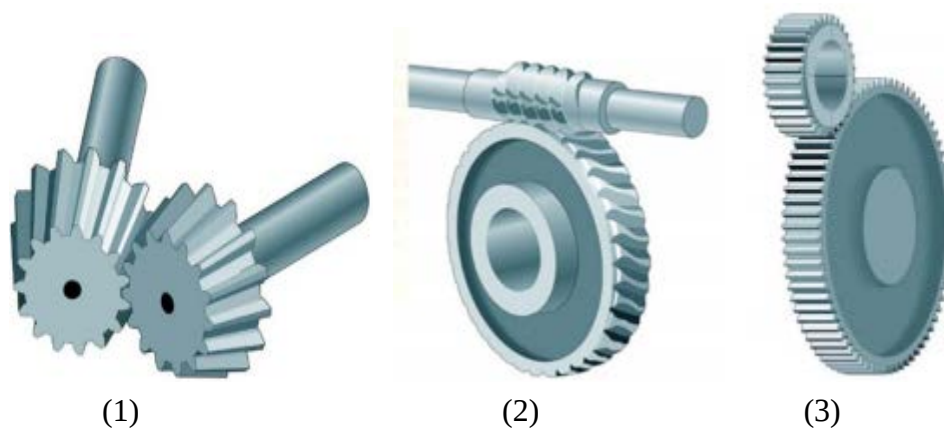
Захваљујући својој крутој кинематској вези, зупчасти парови поседују низ предности које их чине супериорнијим у односу на друге врсте преносника: остварује се тачан кинематски преносни однос, може се постићи веома висок степен искоришћења, могу се користити у широкој области снага, бројева обртаја и преносних односа, као и могућност њихове израде у веома малим димензијама.

Облик зубаца зупчаника може бити: прави, коси, стрелести или завојни (слика 2.).



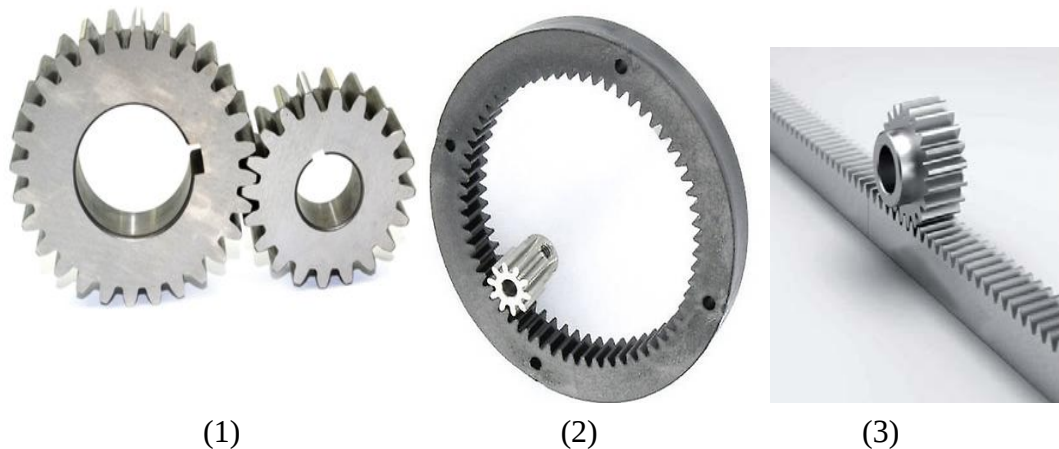
Слика 2. Облик зубаца зупчаника: прави (1), коси (2), стреласте (3), завојни (4) [6]

Вратила, на којима се налазе зупчаници, могу заузимати међусобни положај (слика 3.) тако да се осе вратила међусобно секу (код коничних зупчастих парова), да се осе вратила међусобно мимоилазе (код хиперболоидних зупчастих парова) или осе вратила могу бити међусобно паралелне (цилиндрични зупчасти парови).



Слика 3. Подела зупчаника према положају вратила: конични (1), хиперболоидни (2), цилиндрични (3) [6]

Цилиндрични зупчаници поседују кинематске површине које су у облику цилиндра. Могу поседовати праве, косе, спиралне или стреласте зупце, а према међусобном положају (слика 4.) могу се поделити на: спољашње, унутрашње и равне зупчасте парове.



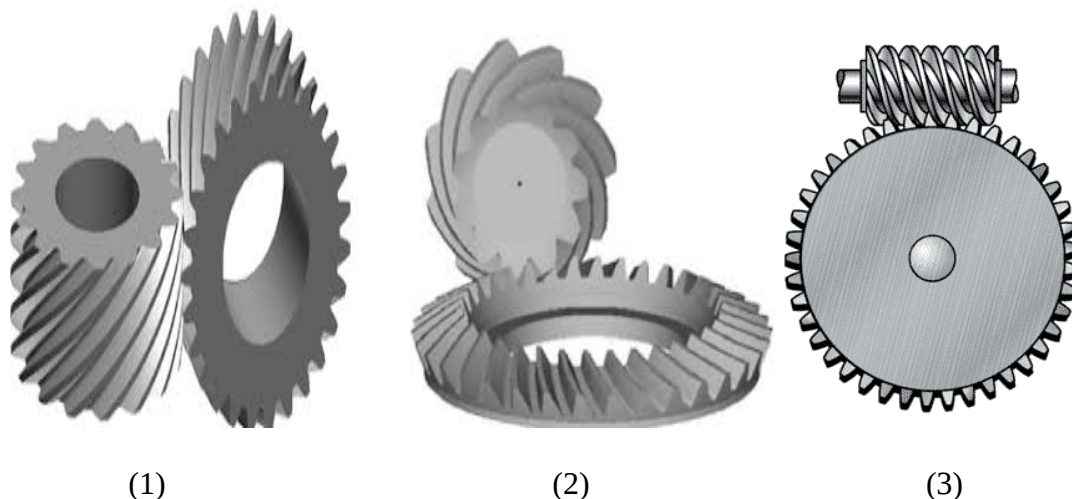
Слика 4. Цилиндрични зупчаници са спољашњим (1), унутрашњим (2) и равним озубљењем (3)[15]

Кинематске површине коничних зупчаника су у облику конуса, а облик зубаца (слика 5.) може бити: прав, кос или завојни.



Слика 5. Конични зупчаници са правим (1) и завојним зупцима (2)[16]

Хиперболоидни зупчасти парови носе тај назив због тога што им је облик кинематских површина у облику једнограних хиперболоида (слика 6.). Могу се поделити на: зупчанике са хеликоидним зупцима за мимоилазна вратила (вијчанике), хипоидне зупчасте парове и пужне парове.



Слика 6. Хиперболоидни зупчаници: вијчаници (1), хипоидни зупчаници (2), пужни парови (3)[17]

Сваки од наведених врста зупчаника захтева висок ниво тачности израде, а самим тим и добро познавање одговарајућих параметара [5].

1.1. Геометрија зупчастих преносника

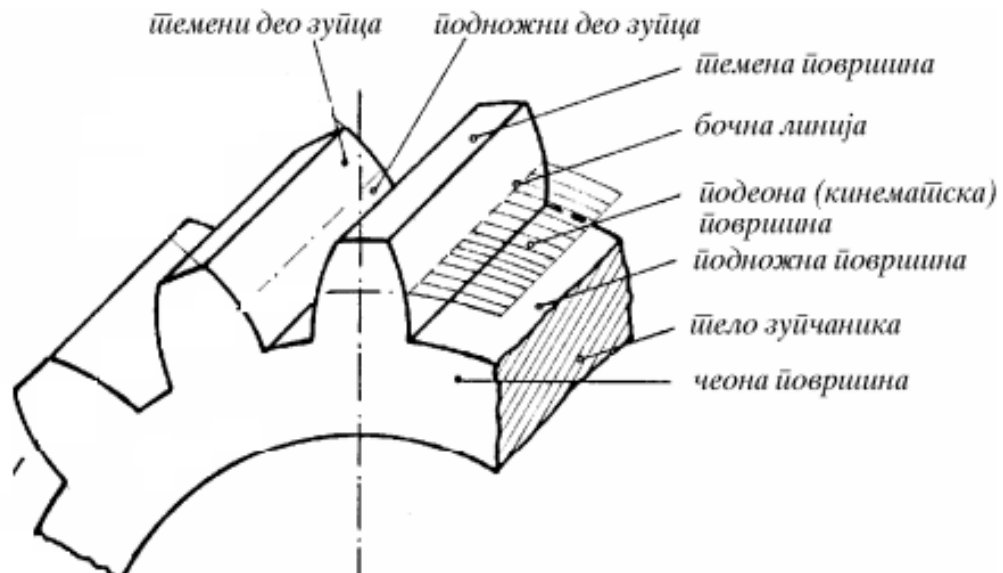
Да би уопште било могуће да се оствари константан преносни однос између зупчаника, неопходно је да се кинематски цилиндри котрљају један по другоме без клизања. Кинематски цилиндри представљају замишљене цилиндре у којима се остварује контакт између спрегнутих површина.

Кружним кретањем погонског вратила на погонском зупчанику се генерише обртни момент и угаона брзина. Зупци погонског зупчаника потискују зупце погоњеног зупчаника и долази до његове ротације и стварања обртног момента и угаоне брзине чија је вредност различита од оне на погонском зупчанику.

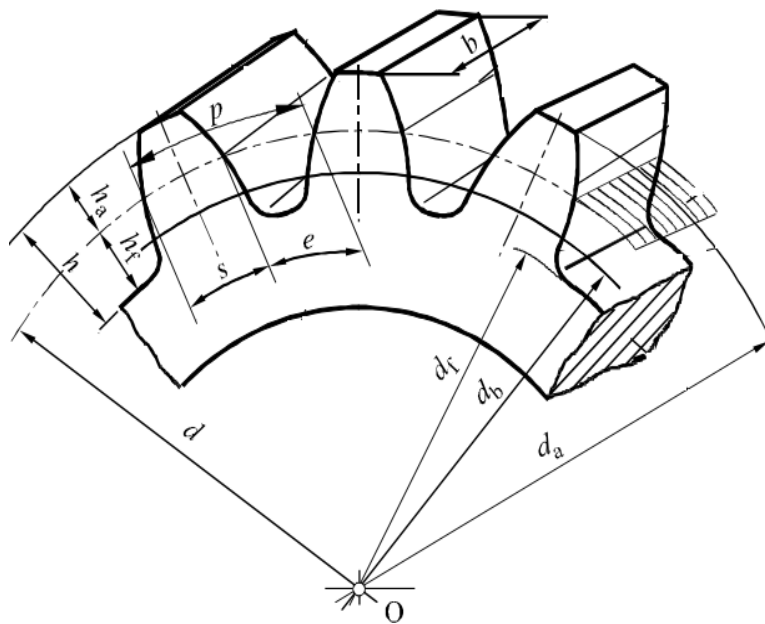
Основни делови који се уочавају на сваком зупчанику (слика 7.) су тело зупчаника и венац са зупцима. Зупци су ограничени у аксијалном правцу, са предње и задње стране, са чеоним површинама, док су по висини ограничени теменом и подножном површином. Сваки зупчаник има тачно одређени број зубаца и од броја зубаца које поседују спрегнути зупчаници зависиће и њихов преносни однос. Подеона површина је замишљена површина која врши раздвајање зупца на темени део (глава зупца) и подножни део (нога зупца). Бочна линија представља линију у којој се секу подеона површина и бок зупца. Спрезање зубаца се врши уз помоћ бокова зубаца.

Међузубље сачињава простор између два суседна зупца и ограничено је, као и зупци, левим и десним бочним површинама.

Зупчаник поседује карактеристичне кинематске цилиндре (слика 8.) који када се пресеку са равнима које су нормалне у односу на његову осу обртања образују одговарајуће подеоне кругове [5].



Слика 7. Основни делови зупчаника [6]



Слика 8. Карактеристични параметри зупчаника [6]

Карактеристичне величине које описују цилиндрични зупчаник са правим зубцима су следеће:

- Пречник подножног круга (d_f) - добија се пресеком подножног кинематског цилиндра са равни нормалном на осу обртања зупчаника

- Пречник теменог круга (d_a) - налази се у пресеку теменог цилиндра и равни нормалне на осу обртања
- Пречник подеоног круга (d)- представља пресек подеоног цилиндра и равни која је управна на осу ротације зупчаника
- Пречник основног круга (d_b)- величина која не мора увек бити једнака димензији подножног круга, већ може бити већа или мања од ње, зависно од величине померања зубаца приликом њихове израде
- Висина подножног дела зупца (h_f)- растојање између подножног и подеоног круга
- Висина теменог дела зупца (h_a)- растојање између подеоног и теменог круга
- Висина зупца (h)- збир висина подножног и теменог дела зупца
- Ширина зупчаника (b)- дужина између предње и задње чеоне површине зупчаника
- Лучна дебљина зупца (s)- величина лука између две крајње тачке једног те истог зупца на одговарајућем кругу
- Лучна ширина међузубља (e)- лучно растојање између два суседна зупчаника на одговарајућем кругу
- Корак профила (p)- лучно растојање између узастопних левих (или десних) бокова зубаца на одговарајућем кругу. Математички је једнак збиру лучне дебљине зупца и лучне ширине међузубља:

$$p = s + e$$

- Модул зупчаника (m)- главни параметар за прорачун свих битнијих величина зупчаника и његова вредност износи:

$$m = p / \pi$$

Зупчаници који сачињавају зупчасти пар морају испунити услове да поседују идентичан модул и корак [5].

2. ИЗРАДА ЗУПЧАНИКА

Израда зупчаника је врло захтеван процес, због тога што је неопходно обезбедити довољно велику тачност тако да не дође до интерференце (преклапања профила) између зупчаника и њиховог оштећења. Како зупчаници остварују међусобно врло чврсту механичку везу, неопходно је да материјал од кога су израђени буду довољно тврди, отпорни на хабање, отпорни на хемијску деградацију и повећање температуре услед трења. Материјали који се обично користе приликом израде су [18]:

- Обојени метали (користе се за висока оптерећења)
- Сиви лив (поседује добре особине отпорности на хабање, лакоће ливења и приступачне цене)
- Ваљани високоугљенични челик и легуре челика (потпуно или површински окаљене)
- Алуминијум, бронза, месинг (за нижа оптерећења)
- Неметали (за нижа оптерећења и мање одговорне системе)

Зупчаници се углавном израђују у процесима обраде са скидањем струготине.

У зависности од квалитета обраде готовог зупчаника, методе израде се могу сврстати у претходне и завршне. При примени претходне обраде израде зупчаника се из почетног облика уклања вишак материјала како би се добила жељена форма озубљења. Након завршене претходне обраде добија се захтевани облик зупчаника, али у ширим границама толеранције. Претходна обрада се може вршити процесима глодања, рендисања или провлачења. Примењивањем метода завршне обраде се добија већи квалитет обрађене површине и већа тачност, као и уклањање дефектног слоја и температурских деформација проузрокованих поступцима претходне обраде. У поступке завршне обраде спадају брушење, глачање и љуштење [1].

2.1. Израда зупчаника глодањем

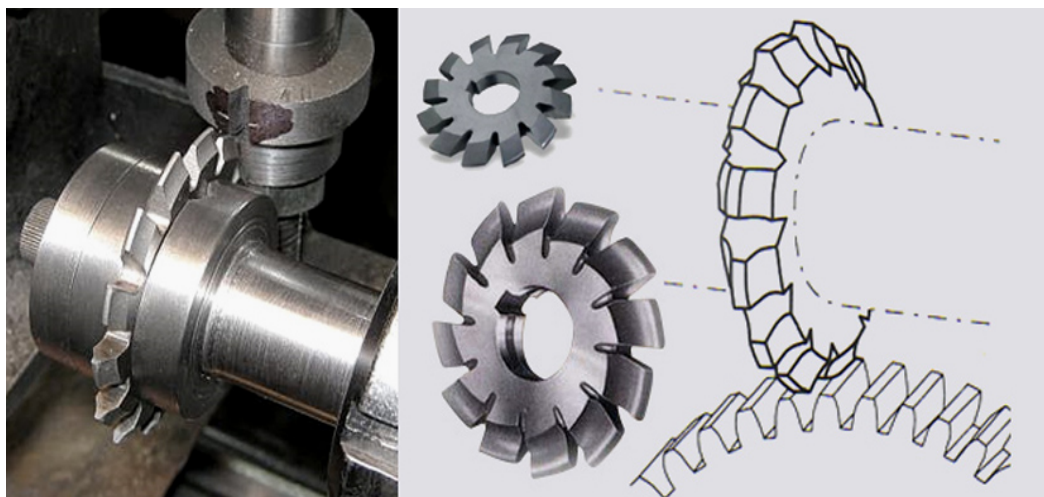
Приликом израде зупчаника глодањем могуће је користити једну од две наведене методе [2]:

- Израда зупчаника појединачним резањем (зуб по зуб)
- Израда зупчаника релативним котрљањем

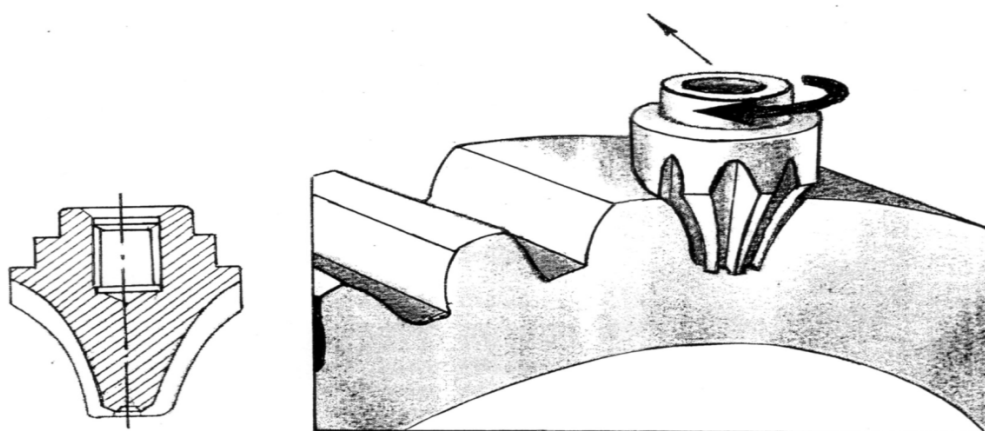
Појединачна израда зубаца се може користити за израду цилиндричних зупчаника на униерзалним, вертикалним или хоризонталним глодалима уз помоћ подеоног апарата. Као алат за израду се користе модулна вретенаста (слика 10.) или котураста глодала (слика 9.). Профил модулног глодала, којим се врши резање, одговара профили међузубља зупчаника. Након извршеног пролаза алата и израде једног међузубља, долази до заокретања предмета обраде за један корак посредством подеоног апарата. При истој

вредности модула зупчаника, са променом броја зубаца долази и до промене међузубља. То би, теоријски, значило да би био неопходан посебан алат за сваку појединачну вредност броја зубаца, при дефинисаној вредности модула. Практично, користе се глодала која се могу користити за израду зупчаника са више различитих бројева зубаца, у оквиру одређеног модула. Уколико број зубаца зупчаника излази из дефинисаног дијапазона модулног глодала, неопходно је извршити измену глодала, тако да се оно може користити при изради жељеног зупчаника. Котураста глодала врше главно обртно кретање, а преко супорта глодалице се остварује релативно аксијално помоћно кретање. Друга врста глодала која се може примењивати за појединачно резање су вретенаста профилисана глодала. Она врше главно обртно кретање и помоћно праволинијско кретање у правцу нормалном на раван зупчаника.

Појединачном израдом зубаца се могу радити и цилиндрични зупчаници са спиралним (завојним) зубцима, под условом да глодалица поседује радни сто који се може заокретати у хоризанталној равни за угао $90-\alpha$ (α -угао нагиба тангенте на завојни жљеб) [2].



Слика 9. Модулно котурасто глодало [19]



Слика 10. Вретенасто модулно глодало [22]

Израда зупчаника са стреластим зубцима се изводи на специјалним машинама коришћењем профилисаног вретенастог глодала чији профил одговара профилу међузубља зупчаника [18].

Израда зупчаника појединачним резањем је нископродуктивна и користи се само у случајевима непостојања других машина и опрема са већом продуктивношћу и тачношћу.

Принцип израде зупчаника релативним котрљањем омогућава већу тачност израде, већу продуктивност, као и бољи квалитет израде. Изводи се на специјалним машинама чији рад се базира на принципу релативног котрљања између предмета обраде и алата. Овај принцип се назива и одвално глодање, због врсте алата који се користи (одвално глодало), а изводи се на машинама типа Пфаутер (Pfauter).



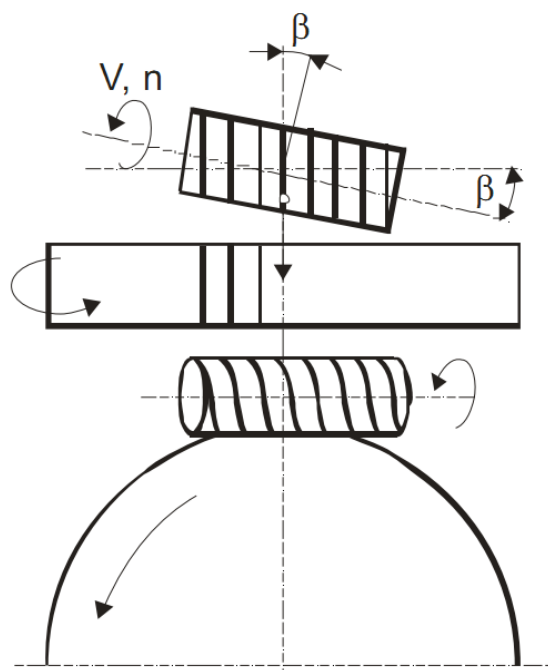
Слика 11. Машина за глодање Пфаутер [8]

Одвално глодало (пужасти глодач) има облик пужа (слика 12.) који је испресецан завојним жлебовима који су нормални на саму завојницу пужа. Приликом самог процеса израде глодало врши лагано главно обртно кретање и помоћно праволинијско кретање паралелно оси радног предмета. Предмет обраде врши помоћно обртно кретање зарад добијања жељеног броја зубаца. Приликом израде цилиндричних зупчаника са правим зупцима (слика 13.) неопходно је да оса глодала буде нагнута према хоризонталу за угао нагиба завојнице β како би се при вертикалном кретању глодала добили прави зупци паралелни том правцу кретања. Код израде цилиндричних зупчаника са завојним зупцима неопходно је узети у обзир и жељени нагиб зубаца зупчаника α . У том случају се оса глодала заокреће за угао чија је вредност једнака разлици угла нагиба зуба зупчаника (α) и угла нагиба завојнице глодала (β). Потребно је обезбедити строгу зависност вертикалног кретања глодала и хоризонталног померања предмета обраде [2].

Сам процес израде зупчаника почиње примицањем радног комада глодалу на потребну дубину зубаца, пре почетка самог рада. Затим следи вертикално кретање глодала које у почетку захвата један део ширине зубаца и наставља са обрадом све док не обради тај сегмент до пуне дубине. Даљим кретањем глодала се проширује ширина венца, све док не дође до његове потпуне израде [1].



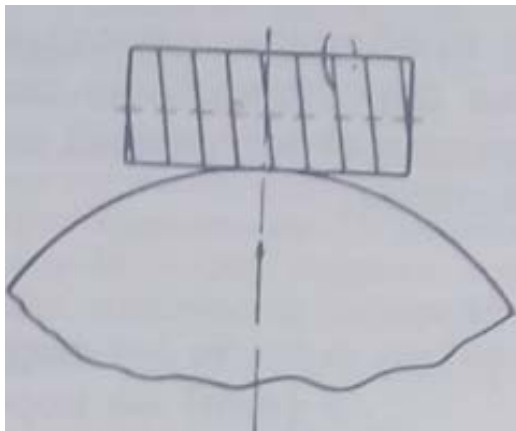
Слика 12. Одвално глодало [20]



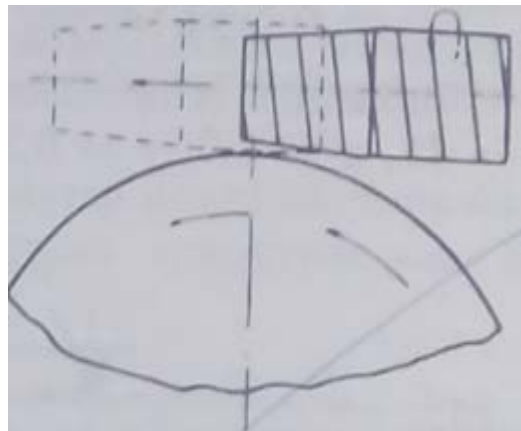
Слика 13. Положај одвалног глодала приликом израде цилиндричних зупчаника са правим зупцима [3]

Изrada пужних точкова је могућа применом одвалног глодала чија се оса налази у хоризонталном положају у равни симетрије пужног точка. Кретање одвалног глодала и радног предмета приликом процеса обраде су истоветни са начином кретања пужа и пужног точка током експлоатације.

На почетку процеса израде пужних точкова долази до примицања алата и радног предмета и на основу овога се врши подела на две основне методе: радијална и тангенцијална (слика 14.). Радијалном методом радни предмет се радијално примиче вршећи помоћно обртно кретање, док глодало врши главно обртно кретање. Тангенцијална метода захтева примену посебне врсте одвалног глодала које је на почетном делу конично засечено тако да су зупци на том делу непотпуни. Глодало се тангенцијално примиче радном предмету све док цилиндрични део не ступи у дејство, након чега долази до заустављања тангенцијалног кретања. Глодало врши главно обртно кретање и тангенцијално примицање, а предмет обраде помоћно обртно кретање и допунско обртно кретање које је потребно због нарушавања релативног кретања услед тангенцијалног померања алата. Радијалном методом се израђују пужасти точкови са углом нагиба зубаца мањим од 12° , а тангенцијалном методом већи нагиби зубаца. Уколико не постоји могућност примене одвалног глодала, могућа је израда пужног точка уз помоћ једносечног-једнозубог алата [2].



(1)



(2)

Слика 14. Радијална (1) и тангенцијална (2) метода израде пужних точкова [1]

Материјал који се највише користи за израду одвалних глодала је брзорезни челик. На алат се могу наносити и превлаке од титанијумовог нитрида (TiN) који значајно повећава чврстоћу површинских слојева и на тај начин смањује његово трошење и повећава његову постојаност [3].

Изrada коничних зупчаника глодањем се остварује на специјалним машинама које се међусобно разликују по принципу рада, врсти резног алата, типу коничних зупчаника који се израђују и сл. Најзаступљеније методе израде коничних зупчаника према машинама на којима се изводе су: Глизон, Клингелнберг, Фиат-Мамано и Ерликон.

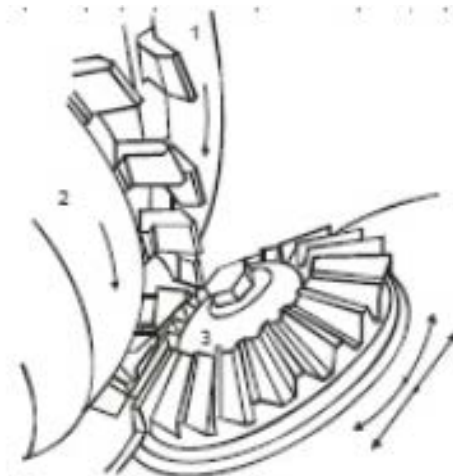
Конични зупчаници са правим зубцима се могу израђивати појединачним резањем на хоризонталној глодалици уз помоћ подеоног апарата, при чему профил глодала треба да одговара средњем пресеку међузубља, али ширина мора одговарати најмањој ширини зуба.

Клингелнберг (Klinglenberg) метода се користи за израду коничних зупчаника са правим и завојним зубцима и базира се принципу релативног котрљања.



Слика 15. Савремена Клингелнберг машина [9]

Као алат за израду се употребљавају два глодала која наизменично обрађују једну и другу страну зупца (слика 16.). Глодала изводе главно обртно и помоћно праволинијско кретање у правцу изводнице конуса док предмет обраде врши истовремено обртно и праволинијско осцилаторно кретање. Предмет обраде је причвршћен за носач који је директно повезан са подеоним апаратом и заокреће се за један корак након завршене израде једног зуба [2].



Слика 16. Клингленберг метода израде коничних зупчаника: 1,2- глодала, 3- носач радног предмета [3]

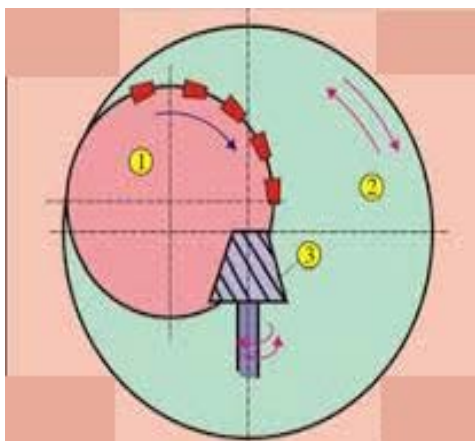
Глизон (Gleason) метода користи принцип релативног котрљања зарад израде зупчаника, периодично зубац по зубац (слика 17).



Слика 17. Глодалица Глизон [10]

Алат који се користи током израде је глодало са уметнутим зубима који су стационирани по кругу (слика 18.). Главно обртно кретање изводи глодало, а релативно котрљање се остварује лаганим обртним кретањем носача алата и предмета обраде у једном смеру приликом радног кретања и у супротном при повратном кретању. Након завршеног повратног кретања се под дејством подеоног апарата врши заокретање зупчаника за један корак.

Приликом израде мањих серија на Глизон глодалици се уз помоћ глодала са уметнутим зубима врши груба обрада међузубља, а потом се свака страна профила засебно обрађује глодалом са уметнутим зубима за фину обраду. Овом методом се израђују углавном мали зупчаници. Тањирасти зупчаници се много чешће израђују методом размакнутих зуба, приликом чега се обрађује испупчена и удубљена страна једног међузубља захваљујући одговарајућем размаку између уметнутих зуба глодала [1].



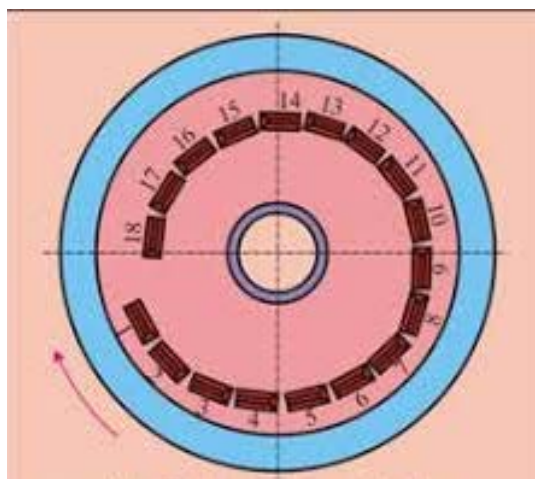
Слика 18. Глизон метода израде коничних зупчаника: 1- глодало, 2- носач алата, 3- предмет обраде [21]

Глодање зупчаника по методи Фиат- Мамано (Fiat- Mammano) се изводи континуално односно врши се аутоматски прелазак са обрађеног на необрађени део зубца односно међузубља (слика 19.).



Слика 19. Глодалица Фиат-Мамано [11]

Алат који се користи при овој методи је глодало са уметнутим зубима који се налазе у спиралном распореду (слика 20.). Глодало врши главно обртно кретање, док радни предмет врши помоћно обртно кретање. Распоред зуба глодала омогућава да се при једном пуном обрту глодала одради једно међузубље. По изласку последњег зуба из претходног међузубља, први зуб глодала је већ започео израду следећег међузубља. При једном пуном обрту глодала се радни предмет заокреће за један корак. Висине појединих зуба глодала се прогресивно повећавају идући од првог ка последњем [1].



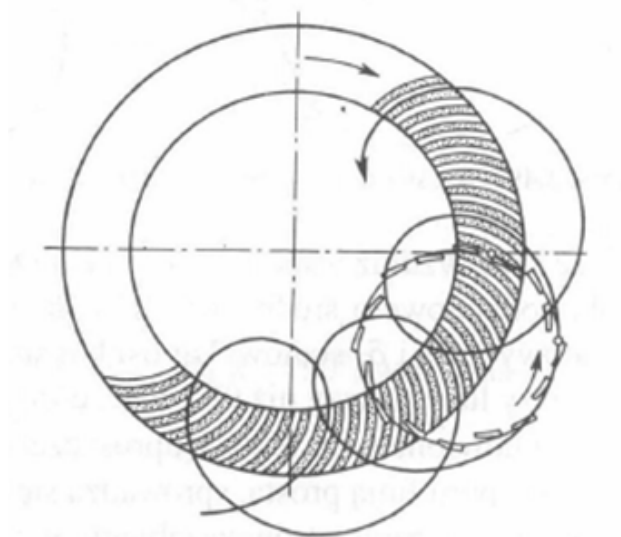
Слика 20. Глодало за глодалицу Фиат- Мамано [21]

Ерликон- Мамано (Oerlikon- Mammano) је метода за континуалну израду коничних зупчаника са завојним зубцима (слика 21.).



Слика 21. Глодалица Ерликон- Мамано [12]

Ради по принципу континуалног котрљања, а као алат се користи глодало са уметнутим зубима (слика 22.) који су распоређени у групе од два или више зуба. Зупци добијени овом методом израде се одликују константном висином дуж целе висине (елоидно зупчење). За случај када се у групи налазе два зуба, први зубац обрађује својом доњом ивицом испупчену страну зупца, а други зубац обрађује својом горњом ивицом издубљену страну. Алат врши главно обртно кретање, а предмет обраде помоћно обртно кретање и притом је потребно је да се за један обрт алата радни предмет окрене за онолико корака зубаца зупчаника колико има парова зуба глодала. Зуби алата описују епициклоиду, а оса предмета обраде је нагнута у односу на осу алата за угао нагиба корена зупца зупчаника [1].



Слика 22.Ерликон-Мамано метода [18]

2.2. Израда зупчаника рендисањем

Рендисање се, поред глодања, често користи приликом израде цилиндричних или коничних зупчаника. Глодање и рендисање се у одређеним ситуацијама могу поклапати, нарочито приликом израде мањих зупчаника. Код већих зупчаника се рендисање издваја као тачнија метода, али мање продуктивна у односу на глодање [1].

Израда цилиндричних зупчаника појединачним резањем сваког зупца је могућа на вертикалној рендисалци са обртним столом. Као алат се користи профилисани нож чији профил одговара профилу међузубља зупчаника. Подеони апарат врши окретање предмета обраде за један корак након што се заврши обрада једног међузубља. Ова метода се врло ретко користи, и то углавном приликом израде великих зупчаника. Главни недостаци су јој мала продуктивност и потреба за великим бројем различитих профилисаних ножева (за исту вредност модула, а различиту вредност зубаца зупчаника није могуће користити исти алат) [2].

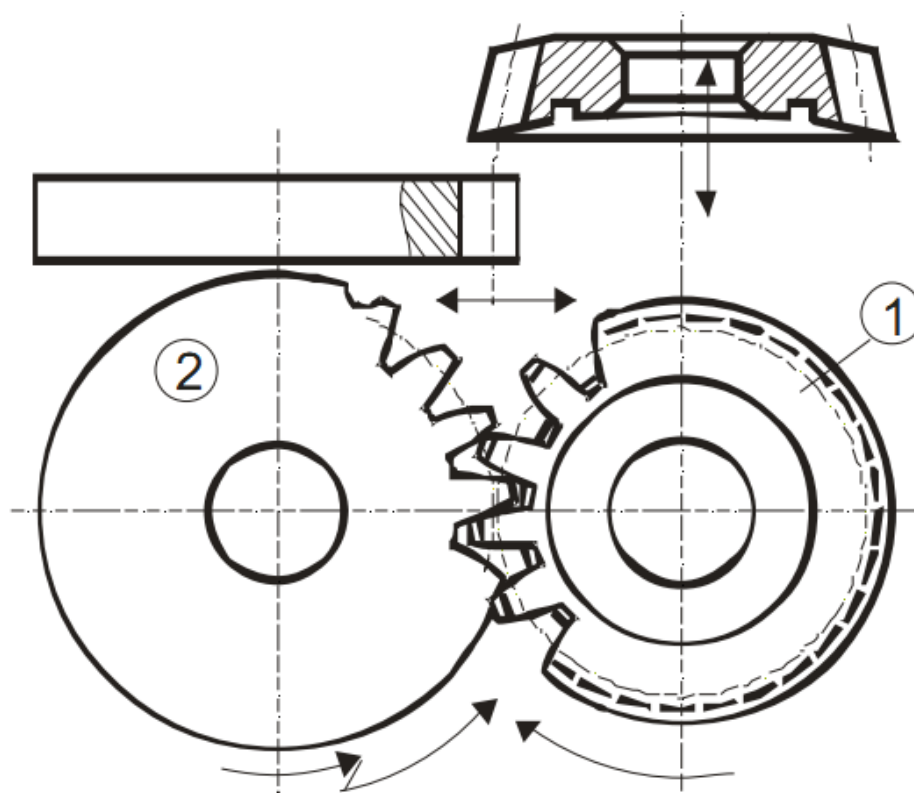
Приликом израде зупчаника у серијској и масовној производњи, користе се методе рендисања које се базирају на принципу релативног котрљања. Најкоришћеније методе су Фелоуз и Маг.

Применом Фелоуз (Fellows) поступка израде цилиндричних зупчаника са правим зупцима (слика 23.) се као алат користи кружни зупчасти нож који је заправо вишепрофилни алат у виду зупчаника.



Слика 23. Рендисалка Фелоуз [13]

Приликом процеса израде зупчаника, алат врши главно праволинијско кретање у вертикалном правцу и истовремено помоћно обртно кретање (слика 24.), док предмет обраде изводи континуално помоћно обртно кретање и повремено праволинијско радијално кретање. Циљ овог радијалног кретања је примицање предмета обраде пре почетка радног хода зарад остваривања жељене дубине резања и одмицање истог пре почетка повратног хода како не би дошло до оштећења обрађене површине. Радни ход алата се врши углавном кретањем алата наниже, а повратни ход кретањем навише, мада се приликом израде већих зупчаника радни ход може кретати навише чиме се постиже бољи квалитет обрађене површине, мирнији рад и већа постојаност алата.

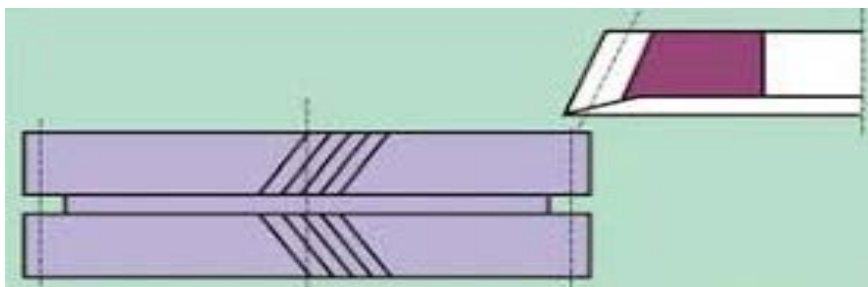


Слика 24. Фелоуз метода израде: 1- алат, 2- предмет обраде [3]

Уколико се Фелоуз методом врши израда цилиндричних зупчаника са завојним зупцима, неопходно је да се као алат користе зупчasti ножеви са завојним зубима. У том случају, алат мора да, поред свих наведених кретања, врши и допунско обртно кретање. На машини се ово допунско кретање врши уз помоћ једне чауре са завојним жлебом одговарајућег нагиба. У овај жлеб улази испуст вратила алата, тако да се вратило заједно са алатом изводи и допунско обртно кретање приликом вертикалног кретања.

За израду зупчаника са угластим (стреластим) зупцима, неопходно је да средишњи део зупчаника садржи жлеб (слика 25.). Тако је могуће да се прво изради једна половина озубљења, а потом и друга, док се алату омогућава слободан излаз [1].

Фелоуз метода омогућава и израду унутрашњег озубљења зупчаника, а поступак је аналоган изради спољашњег озубљења.



Слика 25. Фелоуз метода израде зупчаника са стреластим зупцима [21]

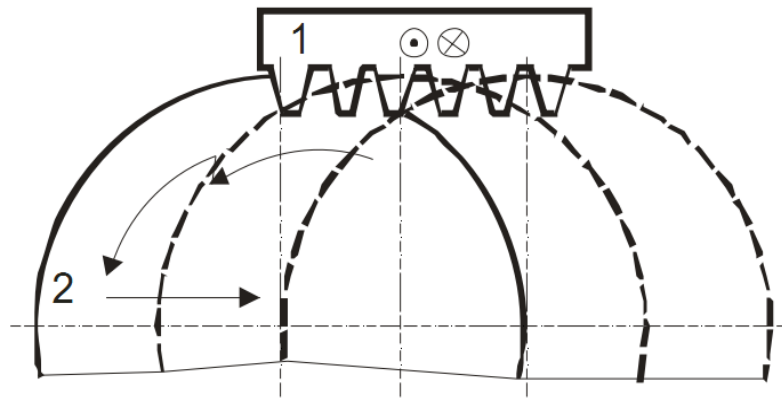
Маг(Мааг) метода израде цилиндричних зупчаника са правим зупцима се заснива на коришћењу правог ножа облика зупчасте летве као резног алата (слика 26.).



Слика 26. Маг рендисаљка [14]

Алат (слика 27.) изводи главно праволинијско кретање у вертикалном правцу, а предмет обраде врши помоћно праволинијско и обртно кретање. Помоћно обртно кретање се врши периодично и то при завршеном повратном ходу, а пре извршења радног хода.

Радни ход се изводи вертикално наниже. Истовремено се врши и одговарајуће транслаторно померање дуж алата и остварује се релативно котрљање предмета обраде према алату. Пошто је број зуба алата мањи од броја предмета обраде, приликом померања предмета обраде од леве до десне стране алата, неће бити обрађени сви зупци. Због тога се радни комад, чим стигне до крајњег десног положаја, враћа транслаторно, без обртања, у почетни положај на левој страни. Алат за то време мирује. Тако се радни комад помера у односу на алат за један или више корака.



Слика 27. Маг метода израде: 1- алат, 2- радни предмет [3]

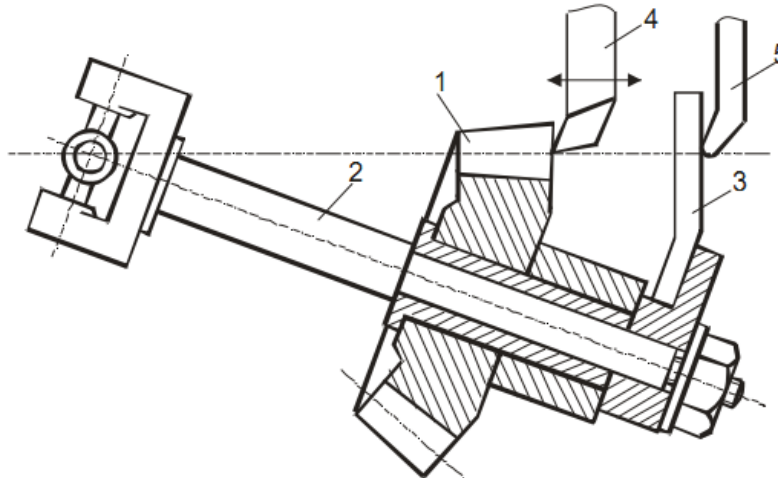
Нож алата може бити намењен за: губу обраду, завршну обраду или завршну обраду зупчаника који се накнадно брусе.

Уколико се Маг методом израђују цилиндрични зупчаници са завојним зубима, неопходно је да се носач алата заокрене за вредност која одговара углу нагиба спирале зуба зупчаника [1].

Поређењем метода Маг и Фелоуз, може се закључити да је израда алата много једноставнија за Маг методу и да се добија већа тачност зупчаника, али и да су рендисаљке типа Фелоуз знатно једноставније за конструкцију у односу на Маг [2].

Рендисањем се, такође, могу израђивати и конични зупчаници. Најкоришћеније методе су: метода копирања по шаблону и метода по принципу релативног котрљања.

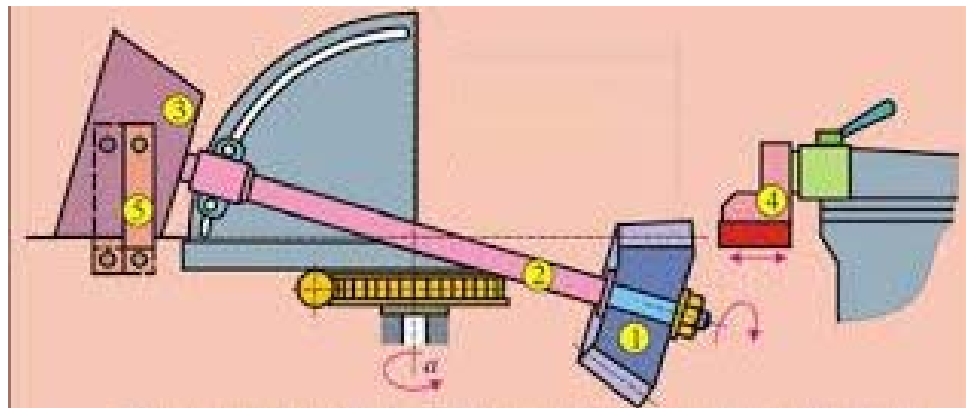
Рендисање коничних зупчаника копирањем по шаблону (позната и као Ерликон метода) се одвија на тај начин што се најпре радни предмет и шаблон постављају на стожер који је зглавкasto везан за врх конуса карданским зглобом (слика 28.). Шаблон поседује профил који је увећаних димензија у односу на профил зупчаника који се израђује, пропорционално растојању од врха конуса. Нож алата изводи главно праволинијско кретање у правцу изводнице конуса, док копирни шиљак врши приљубљивање уз шаблон и на тај начин омогућава нагињање читавог система. На овај начин се при нагињању целог система обезбеђује помоћно кретање радног предмета према ножу које омогућава копирање облика шаблона на радни предмет. Пре почетка рада, машина се регулише тако да врх шиљка за корирање, врх ножа и врх конуса леже у истој равни. Новије машине поседују два ножа од којих један обрађује један, а други други бок профила зупца. Обично се рендисаљке за израду коничних зупчаника копирањем користе за израду зупчаника чији је модул већи од 20 милиметара [2].



Слика 28. Ерликон метода израде зупчаника по шаблону: 1- радни предмет, 2- стојер, 3- шаблон, 4- алат, 5- копирни шиљак [3]

Израда коничних зупчаника методом релативног котрљања се обавља на рендисаљкама по методи Билграм (Bilgram). Ова метода омогућава већу тачност од копирног начина израде.

Радни предмет се поставља на стојер чији је један крај причвршћен за конус чији је угао једнак по вредности углу конуса зупчаника (слика 29.). Нож, који је причвршћен за носач алата врши праволинијско кретање увек у истом правцу, а после сваког повратног хода ножа врши се окретање предмета обраде за један корак, дејством подеоног апарата. После сваког обрта радног предмета, врши се окретање лежишта стојера око осе (а) уз помоћ пужног преносника. Окретањем стојера врши се и котрљање конуса по подлози, тако да настаје релативно котрљање. Котрљање конуса се остварује уз помоћ две челичне траке од којих једна врши намотавање, а друга одмотавање са конуса. Са једним алатом се врши груба обрада међузубља, а завршна обрада профила се врши посебним ножевима за леви и десни бок профила [1].



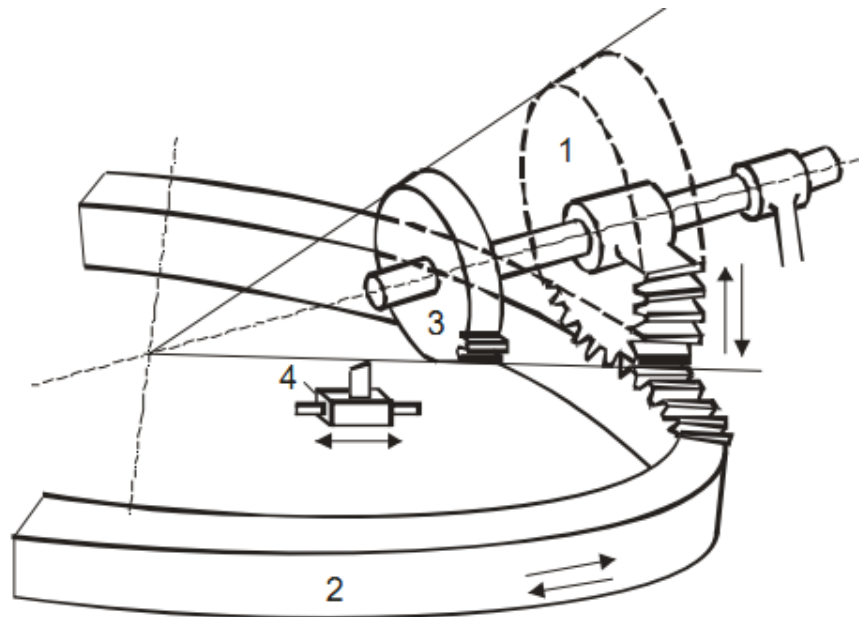
Слика 29. Билграм метода израде: 1- радни предмет, 2- стојер, 3- конус, 4- алат, 5- челичне траке [21]

Израда коничних зупчаника релативним котрљањем помоћу система променљивих зупчаника се може остварити на машинама Хајденрајх и Харбек и на машини Глизон.

Машина Хајденрајх и Харбек (Heidenreich & Harbeck) поседује два носача алата, тако да се један нож налази у радном ходу, док је други у повратном ходу. Сваки од ножева врши обраду једне стране профила, а релативно котрљање се остварује истовременим окретањем, у истом смеру, предмета обраде и плоче са носачима ножева. Када се заврши процес релативног котрљања за један зубац, радни предмет и плоча са носачима ножева се враћају почетни положај, након чега се посредством подеоног апарата врши окретање радног предмета за један зубац [1].

Израда коничних зупчаника са завојним зупцима на машини Глизон (слика 30.) се остварује на сличан начин као и на машинама Хајденрајх и Харбек. Главна разлика је у томе што се у Глизон методи користи један нож као алат и машина ради континуално. Нож алата врши главно праволинијско кретање, а релативно котрљање се остварује лаганим окретањем радног предмета и плоче која носи алат. Допунским обртањем предмета обраде се остварује жељени завојни облик зубаца. Захваљујући овом допунском окретању предмета обраде, нож улази у следећи сегмент међузубља, а у повратном ходу не додирује предмет обраде, чиме се обезбеђује континуални рад.

Глизон метода израде коничних зупчаника са правим зубима је метода која се заснива на принципу релативног котрљања. Релативно котрљање се остварује уз помоћ два зупчаста сегмената који се заокрећу у једну, а затим и у другу страну. Осовина на којој се налази радни предмет, смештен је и зупчasti сегмент које је у контакту са одговарајућим сегментом. Рендисање се врши на тај начин што један нож врши обраду једног профила, а други нож други профил истог зупца. По завршетку једног зупца, систем за релативно котрљање се враћа у почетни положај, а носач алата врши одмицање од радног предмета након чега се врши окретање радног предмета за следећи корак [1].

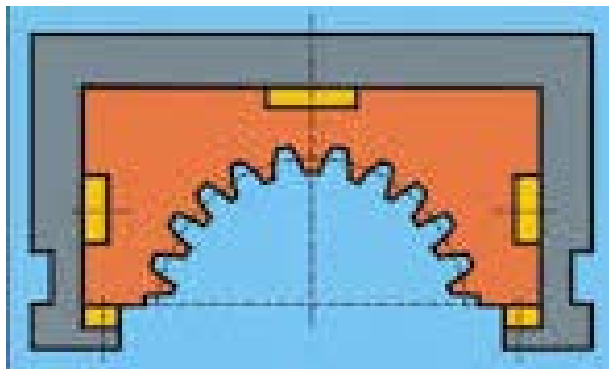


Слика 30. Глизон метода израде коничних зупчаника релативним котрљањем: 1,2- зупчasti сегменти, 3- предмет обраде, 4- алат [3]

2.3. Израда зупчаника провлачењем

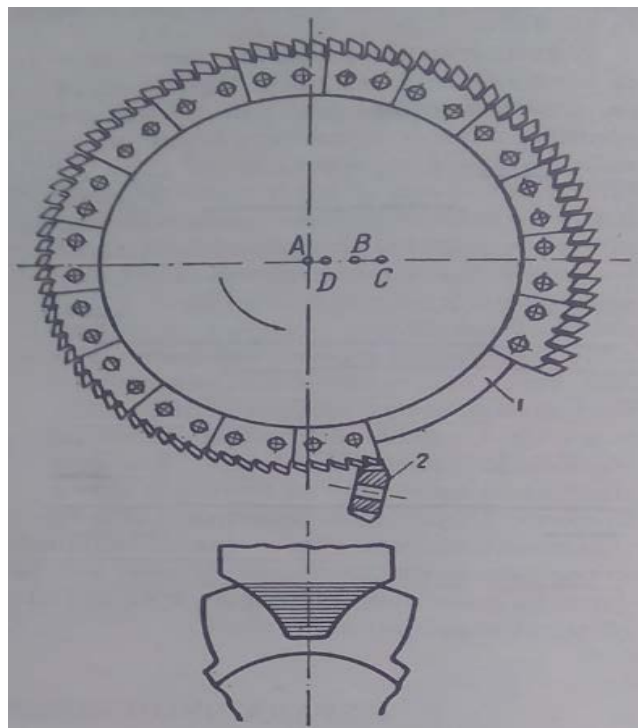
Провлачење је метода која се знатно ређе користи за израду зупчаника у односу на друге методе. Главни проблем је то што се код већих серија не могу користити алати који имају универзалну примену већ се у зависности од модула и броја зубаца они морају прилагођавати. Користи се само спољашње провлачење, пошто је међузубље отворена контура.

Израда цилиндричних зупчаника провлачењем се може вршити одговарајућим алатом (слика 31.) чија контура одговара половини обима зупчаника. Алат је састављен од више плоча које се налазе једна изнад друге. Зуби на плочама се повећавају и употпуњују, идући од доње ка горњој, тако да зуби на последњој плочи одговарају профилу зупца зупчаника. Операција провлачења се изводи на вертикалној машини за спољно провлачење. Радни предмет је постављен у помоћном алату који врши заокретање радног предмета за 180° након што се заврши обрада прве половине.



Слика 31. Израда зупчаника провлачењем [21]

Конични зупчаници се могу израђивати на посебној машини Ривасајкл, коју је развила фабрика Глизон. Алат (слика 32.) се састоји из провлакача који садржи 80 зуба распоређених по већем делу обима. Зуби алата се постепено удаљују од његовог средишта, тако да су им врхови спирално распоређени. Првих 50 зуба је намењено грубој, наредних 10 претходној завршној и последњих 20 завршној обради. На почетку грубе обраде се средиште провлакача помера од тачке А ка тачки В, током претходне завршне обраде средиште се помера од В до С, а током завршне обраде средиште се враћа од С до Д, а потом и у почетни положај. Након завршеног једног међузубља, наставља се равномерно обртно кретање провлакача, док радни предмет врши окретање за следећи корак [1].



Слика 32. Глизон метода израде зупчаника провлачењем: 1- провлакач, 2- радни предмет [1]

2.4. Обрада зупчаника брушењем

Брушење спада у завршни процес израде зупчаника и спроводи се у циљу уклањања дефеката и термичких деформација, као и постизању веће тачности и побољшања квалитета површине. Брушење се примењује, углавном, приликом израде цилиндричних зупчаника са правим или косим зупцима. Ређе се користи код коничних зупчаника.

Најједноставнија метода брушења се базира на коришћењу профилисаних тоцила, које може бити једнострано или двострано профилисано (слика 33). Код двострано профилисаног тоцила (Оркут метода), профил тоцила одговара профили међузубља, тако да се током процеса обраде међузубље обрађује по целој својој контури. Једнострано профилисано тоцило (Минерва метода) има могућност обраде само једне стране профила међузубља. Недостаци Оркут методе су ти што је додирна површина предмета обраде и тоцила велика, те долази и до великог генерисања топлоте и што другачији број зубаца зупчаника при истом модулу захтева други профил тоцила. Код Минерва методе је додирна површина мања између радног предмета и алата и постоји могућност другачијег прилаза тоцила. Двострано профилисано тоцило захтева радијално примицање предмету обраде како би се обезбедила жељена дубина брушења, док се код једнострано профилисаног тоцила ово помоћно кретање изводи тангенцијалним примицањем тоцила и тако обезбеђује његово равномерно трошење.

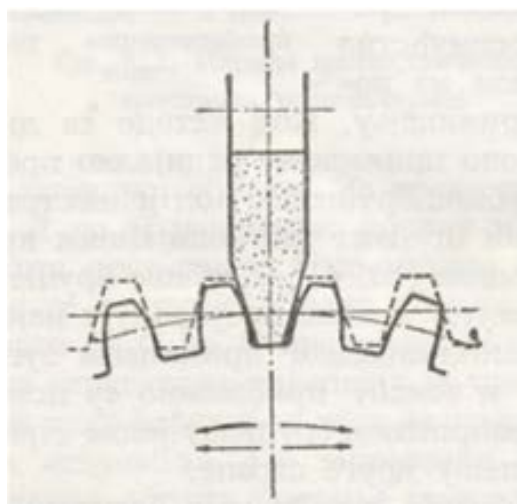
Ове две методе спадају у копирне методе и карактеришу се високом продуктивношћу, али је тачност обраде нижа у односу на методе релативним котрљањем.



Слика 33. Обрада брушењем методом Оркут (1) и Минерва (2) [18]

Код обраде брушењем релативним котрљањем као алат се користи тоцило чији је профил једнак профилу зупца зупчасте полуге.

Метода Нилес (Niles) захтева дроструко конично тоцило са профилем зупчасте летве (слика 34.). Алат врши главно обртно и помоћно праволинијско кретање дуж изводнице зупца зупчаника. Релативно котрљање се остварује обртним и праволинијским кретањем предмета обраде. Тоцило се приликом обраде левог бока зупца приљубљује уз међузубље са леве стране, а при обради десног бока, са десне стране. Када се заврши са обрадом једног међузубља, врши се заокретање предмета обраде за један корак посредством подеоног апарата.



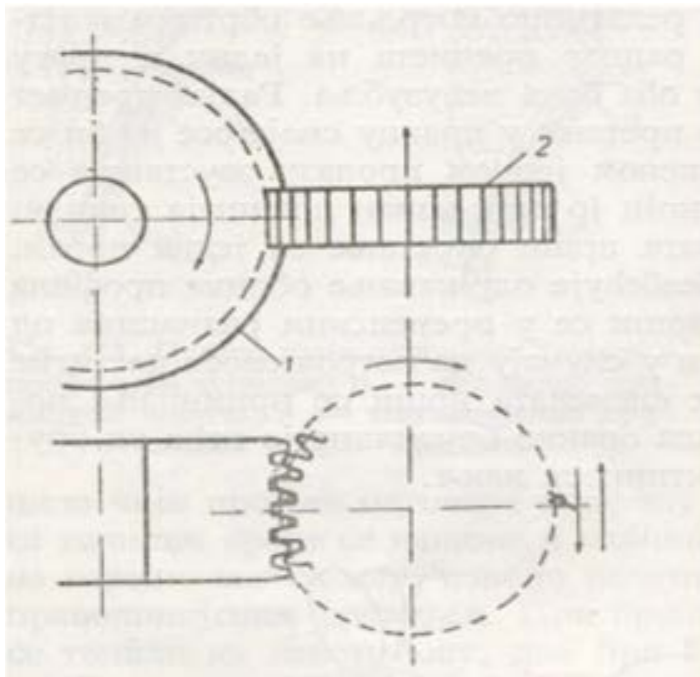
Слика 34. Обрада брушењем методом Нилес [1]

Брусилца за брушење зупчаника типа Колб (Kolb) ради по сличном принципу. Релативно котрљање се остварује уз помоћ челичних трака које врше одмотавање и намотавање на један лучни сегмент (слично као код рендисаљке Билграм). Тоцило има

профил које одговара вредности међузубља, тако да се истовремено врши обрада оба бока међузубља.

Брусилаца типа Маг се базира на коришћењу два тањираста тоцила тако постављена у међузубље да њихове контуре одговарају једном зупцу зупчасте летве. Предмет обраде остварује релативно котрљање обртним и одговарајућим праволинијским кретањем на једну, а потом и на другу страну. Поред ових, предмет обраде врши и лагано праволинијско кретање у правцу осе како би се обрадила цела дужина зупца. Рад је идентичан са методом Нилес. Предност брусилице Маг, у односу на Нилес, је већа тачност, али је недостатак смањена продуктивност.

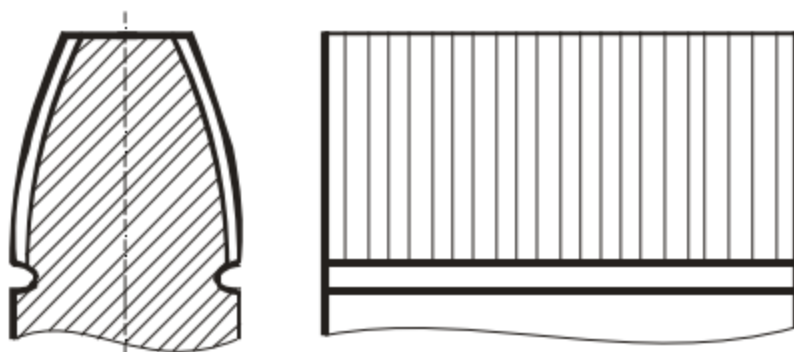
Брусилаца типа Рајсхауер омогућава континуалан рад применом принципа релативног котрљања. Алат је израђен у виду пужастиг тоцила (слика 35.) и у захвату је са радним предметом као и пуж са пужним точком. Релативно котрљање се остварује истовременим главним обртним кретањем тоцила и помоћним обртним кретањем предмета обраде. Предмет обраде, такође, изводи и вертикално осцилаторно кретање, зарад боље обраде по целој ширини и попречно осцилаторно кретање у циљу равномернијег трошења тоцила. Продуктивност брусилица са пужастим тоцилом је и до четири пута већа у односу на брусилице типа Маг, захваљујући континуалном раду [1].



35. Брушење методом Рајсхауер: 1- тоцило, 2- радни предмет [1]

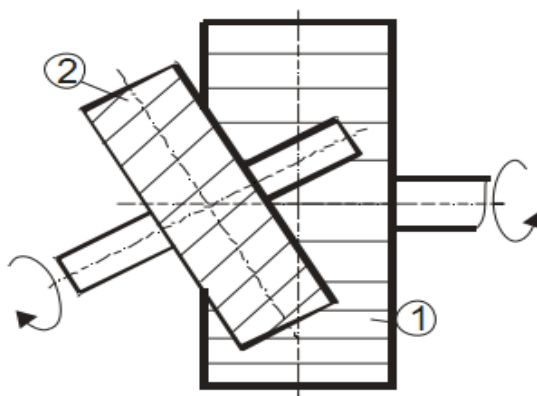
2.5. Обрада зупчаника љуштењем

Обрада зупчаника љуштењем (бријањем) је процес завршне обраде зупчаника који се остварује принципом релативног котрљања. Радни предмет се спреже са алатним зупчаником или алатном зупчастом летвом чије су површине зубаца радијално ижљебљене у циљу добијања ивица за резање. Ове резне ивице (слика 36.) немају особине сечива, као код осталих метода израде зупчаника. Њихова улога је у скидању врло танког слоја материјала са предмета обраде (до 0,1 mm) који у себи садржи ситне дефекте и испупчења.



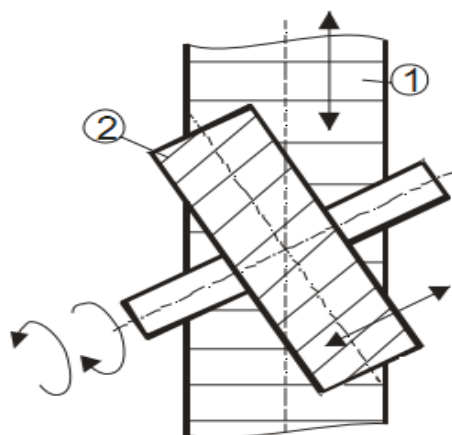
Слика 36. Зуб алата за љуштење [18]

Да би настало кретање потребно за резање, неопходан је нагиб зуба алата према предмету обраде. Код алата у виду зупчаника (слика 37.) са косим зупцима, радни предмет врши аксијално кретање у једном и другом смеру зарад постизања исте дебљине зупца по целој ширини.



Слика 37. Обработка љуштењем: 1- алат у виду зупчаника, 2- предмет обраде [18]

Приликом коришћења зупчасте летве (метода по Лоренцу)(слика 38.) алат врши периодично кретање у једном, па у другом смеру док је у спрези са радним предметом. Радни предмет се бочно помера бочно за малу вредност након сваког хода зарад равномернијег трошења алата. Љуштење је продуктивна метода завршне обраде и примењује се углавном пре термичке обраде, а након претходне обраде зупчаника глодањем, рендисањем или провлачењем. Љуштењем пре термичке обраде се може смањити дубина до које се врши брушење након термичке обраде, а тиме и само време брушења [1].



Слика 38. Обрада љуштењем: 1- алат у виду зупчасте летве, 2- предмет обраде [18]

2.6. Обрада зупчаника полирањем

Глачање (полирање) је поступак завршне обраде зупчаника који се остварује на тај начин што два спрегнута зупчаника изводе релативно котрљање, као и нека допунска кретања зарад постизања равномернијег полирања по целој површини профила. Глачањем се обрађују зупчаници који се након термичке обраде не обрађују брушењем а код којих се захтева висок квалитет обрађене површине. Полирање се може применити и код зупчаника обрађених брушењем код којих су захтеви за тачношћу и квалитетом обрађене површине веома високи. Приликом коришћења овог поступка неопходно је и присуство средства за полирање које се састоји од течности која у себи садржи абразив [1].

3. ИЗРАДА ЗУПЧАНИКА НА МАШИНИ ЗА ОЗУБЉЕЊЕ

Реални системи за израду зупчаника, који се често срећу у пракси, су машине базиране на технологији израде из двадесетог века. Иако су машине застареле, њихова примена је прихватљивија приликом израде зупчаника у појединачној и малосеријској производњи за потребе потрошача на територији Србије. Њихова цена је нижа од модернијих машина базираних на принципу CNC технологија, традиционални механизми машине су лакши за разумевање од стране оператера, а тачност израде је на задовољавајућем нивоу.

У овом делу рада је било неопходно показати карактеристике машине за израду зупчаника Пфаутер (слика 39.), која се налази у власништву Факултета инжењерских наука. Међутим, због техничких проблема, није било могуће описати рад овог система.



Слика 39. Машина за израду озубљења Пфаутер

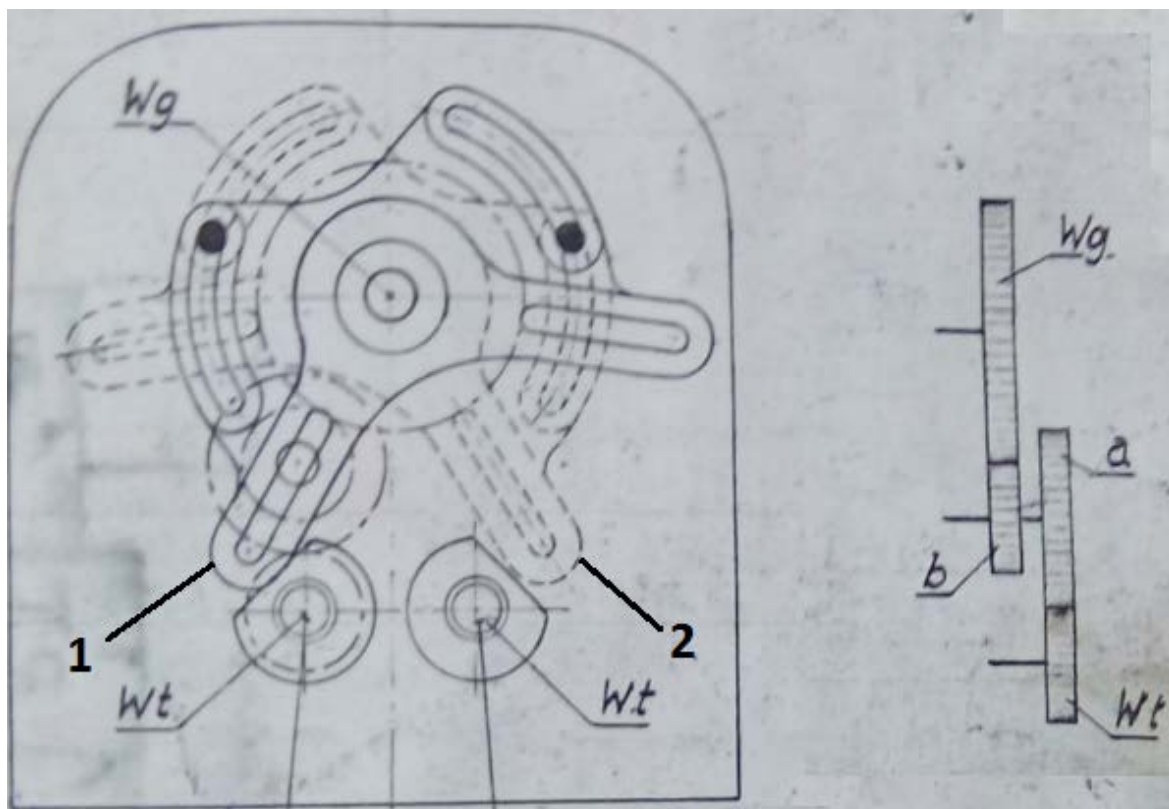
Као алтернативно решење, извршена је анализа машине за озубљење Лоренц (Lorenz) која се налази у власништву самосталне алатничарске радње „Крљић“, на територији Крагујевца (слика 40.).



Слика 40. Машина за озубљење Лоренц

Машина се може користити за израду зупчаника и пужних точкова са правим зупцима радијалном методом или за израду зупчаника и пужних точкова са завојним зупцима тангенцијалном методом. У зависности од тога какав је жељени облик зуба, на машини се врше корекције у виду преносног односа (слика 41.).

У колико је потребно да се израђују зупчаници са правим зубима, зупчаници за пренос се постављају на вратило у одговарајући положај (позиција 1), а уколико је жељени облик зуба спирални, зупчасти преносници се постављају на друго вратило у одговарајући положај (позиција 2).



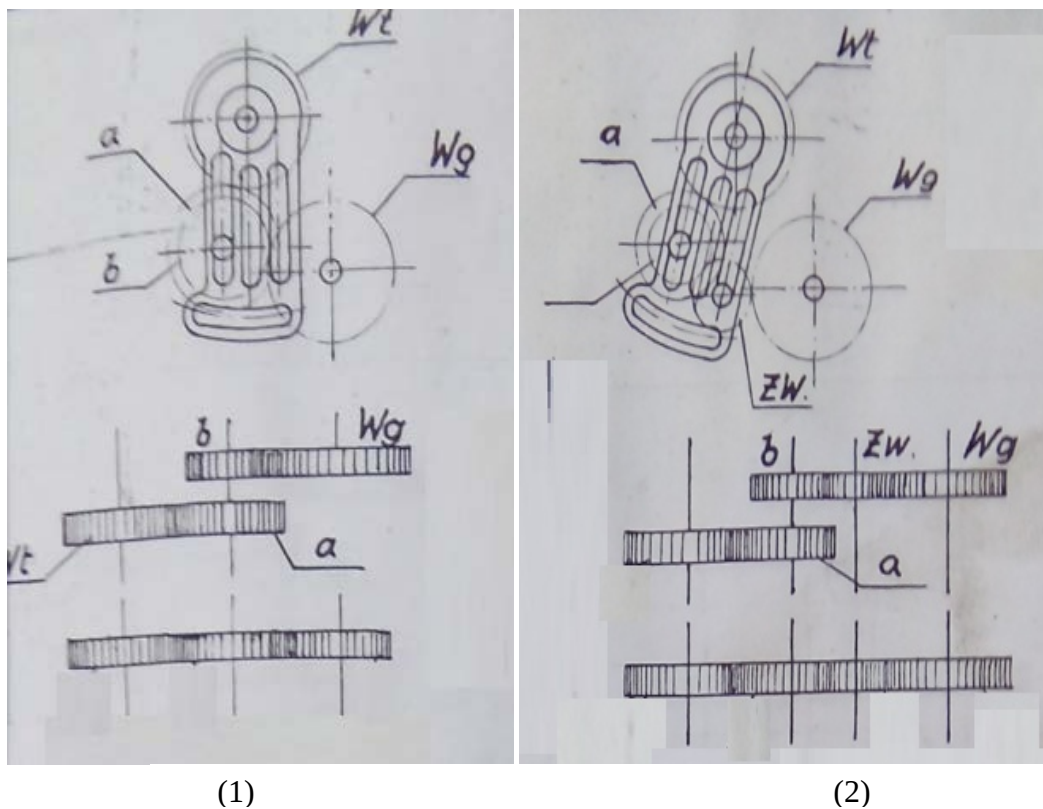
Слика 41. Преносници машине: 1- за израду зупчаника са правим зупцима, 2- за израду зупчаника са спиралним зупцима [7]

Након постављања зупчаника на одговарајуће вратило, приликом укључивања машине, долази до израде зупчаника одговарајућег профила (слика 42.). Друго вратило, при покретању машине, такође врши обртно кретање, али не врши пренос снаге зато што на њему нема зупчастих преносника.



Слика 42. Преноси однос при изради зупчаника са спиралним зупцима

Приликом израде зупчаника са завојним зупцима тангенцијалном методом постоји могућност подешавања леве или десне спирале, а то се постиже одговарајућим распоредом зупчаника и међузупчаника (слика 43.).



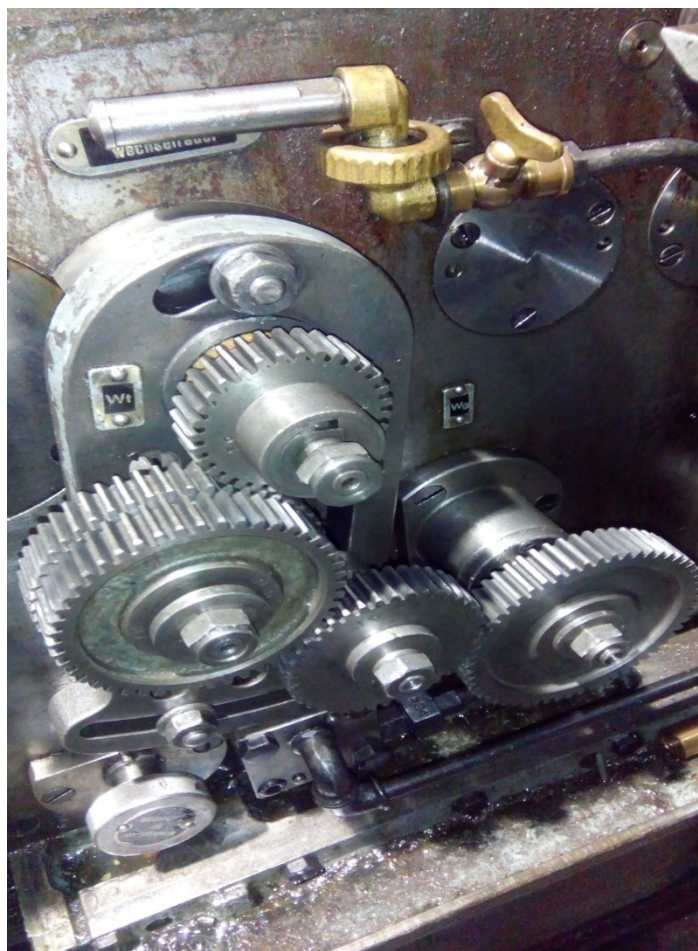
Слика 43. Преносни однос машине: 1- при изради десне спирале, 2- при изради леве спирале [7]

Разматрана је израда пужног точка. Материјал од кога је израђен припремак је калајна бронза (CuSn14) (слика 44.).



Слика 44. Припремак

Карактеристике пужног точка су те да је израђен тангенцијалном методом (десна спирала) (слика 45.) и да поседује 3 почетка.



Слика 45. Распоред преносника приликом израде десне спирале

Поступак израде се одвија на тај начин што се припремак прво правилно причвршћује (слика 46.), а приликом укључивања машине почиње да врши равномерно помоћно обртно кретање.



Слика 46. Причвршћивање припремка

Док предмет обраде врши помоћно обртно кретање, алат врши главно обртно кретање и допунско праволинојско кретање. Алат (слика 47.) је сачињен од једног зуба који одговара профилу међузубља пужног точка.



Слика 47. Изглед алата

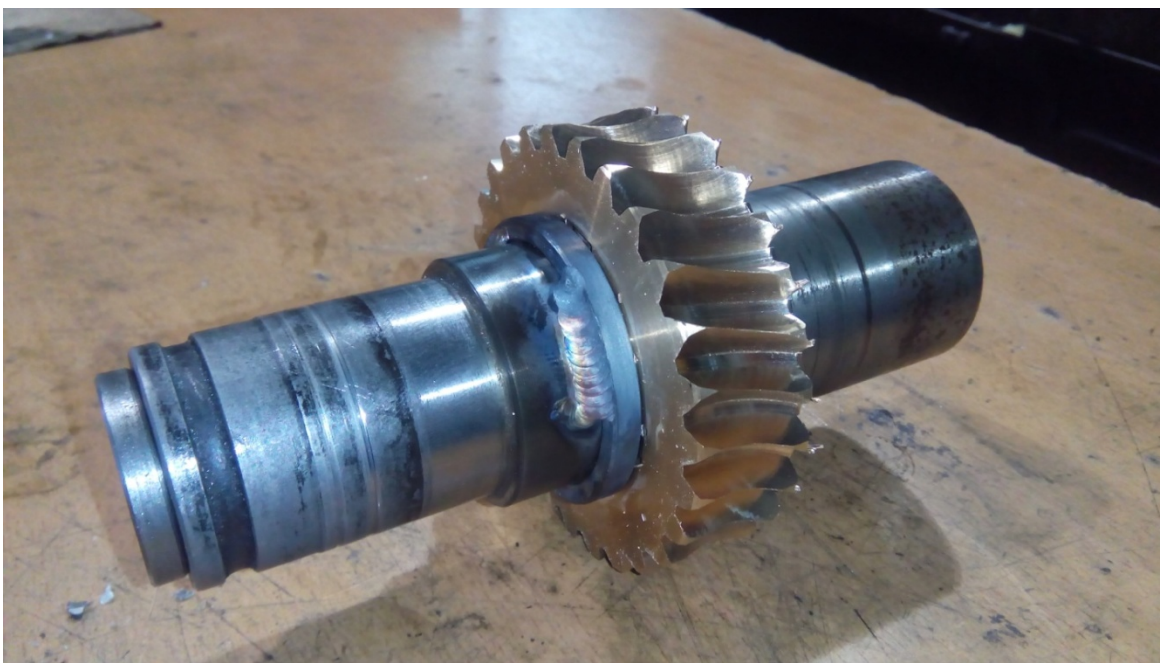
Осе алата и предмета обраде су нормалне међусобно. На почетку обраде алат је позициониран у крајњем положају и врши благо скидање струготине. Аксијалним допунским померањем алата се повећава дубина резања, а самим тим и висина зупца и омогућава постепеност скидања струготине, све до његове потпуне израде. Након израде једног почетка пужног точка (слика 48.), врши се померање предмета обраде за одговарајући корак, како би се могло приступити изради следећег почетка (слика 49. и 50.).



Слика 48. Израда првог почетка пужног точка



Слика 49. Израда другог почетка пужног точка



Слика 50. Изглед израђеног пужног точка

Након завршене обраде зупчаника може се приступити додатној обради зупчаника, уколико се то захтева. Након обраде могу се јавити неправилности у виду заостале струготине, која се може једноставно уклонити турпијом (слика 51.).



Слика 51. Остаци струготине на пужном точку

4. ЗАКЉУЧАК

Процес израде зупчаника је доста компликован зато што захтева велику тачност и квалитет како би се уопште могло остварити правилно функционисање спрегнутих зупчастих парова. Од машина се захтевају високе перформансе како не би долазило до грешака у изради, а алати морају испуњавати услове који задовољавају особине жељене врсте зупчаника. За разлику од ранијих периода у којима се потенцијало на изради зупчаника са правим зупцима због њихове једноставније израде у односу на друге врсте зупчаника, у савременом свету се све више користе зупчаници са завојним зупцима. Иако се овом врстом зупчаника омогућава бољи преносни однос и пренос већих оптерећења, њихова израда захтева изузетно сложеније прорачуне, алате и машине. Одређивање одговарајућих параметара цилиндричних зупчаника са правим зубима представља врло захтеван задатак који обухвата врло комплексне прорачуне, који се могу додатно усложњавати уколико се израђује друга врста зупчаника.

Од технологија које се примењују приликом израде зупчаника, глодање се издваја као најпримењиванија. Разлог за то је већа производност у односу на друге технологије.

Рендисање се показало као врло поуздана и, у одређеним ситуацијама, као тачнија технологија израде у односу на глодање, што је један од разлога зашто је широко распрострањено у области производње зупчаника.

Провлачење, због низа ограничавајућих фактора, се ретко користи користи за израду зупчаника, али и даље стоји на располагању као валидна технологија за израду озубљења.

Методе завршне обраде (љуштење, брушење, полирањем) се не примењују увек, зато што нису неопходне за исправно функционисање зупчастих парова и повећавају цену израде, али се њиховом применом значајно повећава квалитет обрађене површине. Потребно је да се спроводе код зупчастих парова од којих се очекују високе перформансе.

У производњи зупчаника тежи се за освајањем технологија које пружају широк спектар израде. Варирање величине зупчаника које се може срести у пракси, разлике у погледу модула и броја зуба, различитости у погледу врсте зупчаника који се могу израђивати условили су да се траже системи који обухватају широк спектар решења и могућност избора жељеног параметра.

Производња светске класе се ослања на високе технологије у којима је процес израде аутоматизован и роботизован. На тај начин се омогућава висок степен тачности и квалитета, а да се притом може изградити и већи број производа.

Мањи произвођачи се ослањају на већ овладане и познате технологије производње, које иако се врше на старијим машинама, пружају довољну тачност израде зупчаника, тако да они могу исправно функционисати. Коришћењем CNC-машина се смањује мануални рад оператера и време које је потребно за његово присуство, али се зато и цена оваквих система значајно повећава.

Тренд који се све више практикује је репарација и модернизација застарелих машина. Одређени склопови машина се, у случајевима када је то могуће, замењују савременијим и бољим. На тај начин се остварује компромисно решење да се, уз

прихватљиву цену, побољшавају перформансе већ постојећег система, без његовог потпуног одбацивања као застарелог.

Иако се непрекидно ради на повећавању способности преносника и увођењу алтернативних решења зарад смањења губитака приликом преноса снаге и кретања, зупчаници заузимају посебно место међу преносницима због својих добрих карактеристика, а у неким случајевима их чини и незаменљивим.

Литература

1. Станковић Павле, Машинска обрада, Издавачко предузеће Грађевинска књига, Београд, 1974.
2. Лазић Миодраг, Технологија обраде метала резањем, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2002.
3. Недић Богдан, Лазић Миодраг, Обрада метала резањем, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2007.
4. Алатничар бр.9, Стручно информативни часопис, Друштво алатничара општине Чачак, Чачак, 1986.
5. Николић Вера, Машински елементи, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2004.
6. Благојевић Мирко, Ђорђевић Зорица, Машински елементи- зупчасти преносници, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, презентација
7. Упутство за употребу машине за озубљење Лоренц.
8. <https://www.youtube.com/watch?v=SuqP-cq18nQ>, септембар 2019.
9. <https://www.lhmachine.com/sold-machin-details/machine/02829-klingelnberg.html>, септембар 2019.
10. <https://www.ebay.com/itm/641-GLEASON-G-Plate-HYPOID-SPIRAL-BEVEL-GEAR-GENERATOR-28074-/152597530554>, септембар 2019.
11. <https://swissware.tools/used-machines/product/flat-spiral-gear-generator-mammano-dis-400/>, септембар 2019.
12. <https://swissware.tools/used-machines/product/oerlikon-bevel-gear-generator-s17-1980-seller-seeking-offer-1980/>, септембар 2019.
13. <https://www.exapro.com/fellows-36-p80314133/?exaspot=1#prettyPhoto>, септембар 2019.
14. <https://www.exapro.com/maag-sh-100-gear-cutting-machine-p60208023/#prettyPhoto>, септембар 2019.
15. <https://www.alco.rs/proizvod/zupcasta-letva-m1-5-17x17x2000/>, септембар 2019.

16. <https://www.machinedesign.com/whats-difference-between/what-s-difference-between-spur-helical-bevel-and-worm-gears>, септембар 2019.
17. <https://www.machinerylubrication.com/Read/1080/worm-gears>, септембар 2019.
18. Томић Милан, Израда зупчаника- завршни рад, Крагујевац, 2014.
19. <https://crtoolsuk.com/cutting-tools-sheffield/involute-gear-cutters/>, септембар 2019.
20. <http://glodaloodvalnoreznialat.blogspot.com/2015/02/odvalno-glodalo-za-izradu-zupcanika.html>, септембар 2019.
21. https://dlscrib.com/download/izrada-zup-269-anika-glodanjem_590a6517dc0d604c77959ec4_pdf, септембар 2019.
22. <https://studopedia.info/4-52664.html>, септембар 2019.