

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Машине алатке

Број индекса: 128/2010

Милан З. Томић
ТЕХНОЛОГИЈЕ ИЗРАДЕ ЗУПЧАНИКА
завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Недић Богдан

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да изврши систематизацију и на одговарајући начин презентацију података везаних за израду зупчаника свим поступцима обраде. Такође, потребно је прикупити податке о савременим обрадним системима (CNC машинама) за израду зупчаника. Упоредо са одговарајућим текстом дати и видео презентације добијене коришћењем интернет технологија.

Завршни рад треба да садржи следеће целине:

1. Увода разматрања,
2. Поступци израде зупчаника,
3. Израда зупчаника глодањем,
4. Израда зупчаника рендисањем,
5. Израда зупчаника провлачењем и завршна обрада зупчаника,
6. Закључци,
7. Литература.

Препоручена литература:

[1] Станковић П., Машинска обрада, Издавачко предузеће ГРАЂЕВИНСКА КЊИГА, Београд, 1971.

[2] Недић Б., Лазић М., Обрада метала резањем, Машински факултет Крагујевац, Крагујевац, 2007.

[3] Лазић М., Технологија обраде метала резањем, Машински факултет Крагујевац, Крагујевац, 2002.

Крагујевац, 30.07.2014.

ментор:

Проф. др Богдан Недић

РЕЗИМЕ

У оквиру овог рада извршена је систематизација и анализа прикупљених података везаних за поступке израде зупчаника. Детаљно су описани сви поступци израде зупчаника (глодањем, рендисањем, провлачењем). Такође су објашњени и поступци завршне обраде зуба зупчаника (глачање, брушење и бријање), неопходни за постизање веће тачности израде профила зуба. Прикупљене су информације и извршена је систематизација о видео презентацијама поступне обраде зупчаника.

Кључне речи: Израда зупчаника, глодање, рендисање.

SUMMARY

This work includes systematization and analysis of all collected informations related to procedures for making gears. In details are described all procedures for making gears (milling, rendering, broaching). Also the processes of fine teeth finishing (grinding and shaving) are explained, as they are necessary for achievement of greater tooth profile precision. There are collected informations and systematization of video presentations which includes procedures of making gears.

Key words: Making gears, milling, rendering

САДРЖАЈ:

1. Увод.....	6
2. Зупчасти преносници - карактеристике и геометрија.....	8
2.1. Основни појмови за дефинисање геометрије цилиндричног зупчаника.....	9
3. Поступци израде зупчаника.....	12
4. Израда зупчаника глодањем.....	15
4.1. Израда зупчаника појединачним резањем.....	15
4.2. Израда зупчаника релативним котрљањем.....	16
4.3. Израда коничних зупчаника глодањем.....	19
4.4. Подеони апарат.....	22
4.5. Алати за израду зупчаника глодањем.....	24
4.6. Машине за израду зупчаника глодањем.....	25
5. Израда зупчаника рендисањем.....	28
5.1. Израда коничних зупчаника рендисањем.....	31
5.2. Алати за израду зупчаника рендисањем.....	36
5.3. Машине за израду зупчаника рендисањем.....	37
6. Израда зупчаника ваљањем.....	38
6.1. Израда зупчаника ваљањем на хладно.....	38
6.2. Израда зупчаника ваљањем на топло.....	39
6.3. Алати за израду зупчаника ваљањем.....	41
6.4. Машине за израду зупчаника ваљањем.....	42
7. Израда зупчаника провлачењем и завршна обрада зупчаника.....	44

7.1. Израда зупчаника провлачењем.....	44
7.2. Завршна обрада зупчаника.....	46
7.2.1. Обрада зупчаника брушењем.....	46
7.2.2. Обрада зупчаника љуштењем(бријањем).....	49
7.2.3. Обрада зупчаника глачањем(полирањем).....	51
7.3. Алати за израду зупчаника провлачењем и завршну обраду зупчаника.....	51
7.4. Машине за израду зупчаника провлачењем и завршну обраду зупчаника.....	53
8. Видео презентације.....	56
9. Закључак.....	60
Литература.....	61

1. УВОД

Технички развој у свету и код нас задњих неколико деценија, условљен је захтевима савременог човечанства за што већом производњом свих материјалних добара. Непрекидан развој индустрије, сталан раст обима промета производње, прелаз многих индустријских грана на масовну ланчану производњу, модернизација и тенденција ка већој продуктивности захтева даља теоријска проучавања и експериментална испитивања. Данас ниво развоја науке и технике омогућава све већу примену рачунара и програмских система и у овој научној области. На слици 1. су приказани зупчаници.



Слика 1. Зупчаници [4]

У савременом машинству зупчаници као делови машина и механизма, у многим случајевима одређују вредност техничких параметара машина у које се уграђују. Зато питање усавршавања конструкција и израде зупчаника, разрада нових високопроизводних и економичних технолошких процеса, повећање поузданост и век трајања су задаци опште друштвеног значаја.

Зупчасти преносници представљају најраспрострањенију и најважнију групу механичких преносника чија је намена пренос кретања и снаге са једног вратила на друго помоћу зубаца у непосредном додиру. Пренос и трансформација снаге помоћу зупчастих преносника остварује се спрезањем зубаца. Тиме је обезбеђено ваљање кинематских површина без клизања. Преносни однос је константан, а носивост је висока у поређењу са другим преносним паровима. Зупчаници се најчешће спрежу са другим зупчаницима, али било који уређај са истим зупцима се може спрезати, као на пример зупчаста летва. Зупчасти преносни парови се одликују малим габаритом у односу на оптерећење које преносе, високим степеном искоришћења, високом издржљивошћу и трајношћу.

На почетку рада извршено је теоријско упознавање зупчастих преносника, њихових карактеристика и геометрије. Детаљно су описане све основне величине облика зуба и поделе зупчаника.

У наставку рада објашњени су поступци израде зупчаника: израда зупчаника глодањем, израда зупчаника рендисањем, израда зупчаника ваљањем, израда зупчаника провлачењем и завршна обрада зупчаника, као и методе претходне и завршне обраде уз сликовит опис.

У поглављу израде зупчаника глодањем описане су технологије: израде зупчаника појединачним резањем, израде зупчаника релативним котрљањем, израде коничних зупчаника глодањем, као и машина на којима се ови поступци обављају, нпр. машина за израду зупчаника глодањем типа *Pfauter*.

Израда зупчаника рендисањем је базирана на принципу релативног котрљања и најзаступљеније методе су *Fellows* и *Maag* које су описане у даљем тексту. Такође је објашњена и израда коничних зупчаника рендисањем и њене методе као што су: *Oerlikon*, *Bilgram*, *Gleason*.

Израда зупчаника ваљањем је објашњена и поступци на хладно и у топлој стању материјала. У хладно ваљање спадају поступци где се користе алати у облику зупчасте летве, у облику зупчаника и у облику пужа.

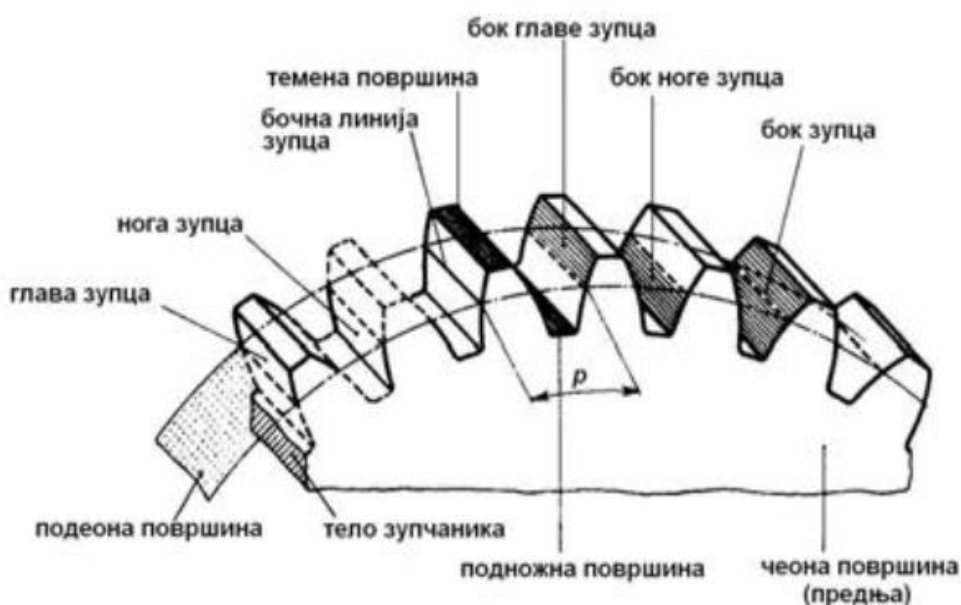
У посебном поглављу описан је поступак израде зупчаника провлачењем. Машина *Revasycle* на којој се врши израда коничних зупчаника провлачењем је објашњена у истом поглављу.

У завршну обраду зупчаника припадају љуштење, брушење и глачање. Описане су све методе ових поступака као што су: *Orkut*, *Minerva*, *Niles*, *Maag*, *Reishauer*.

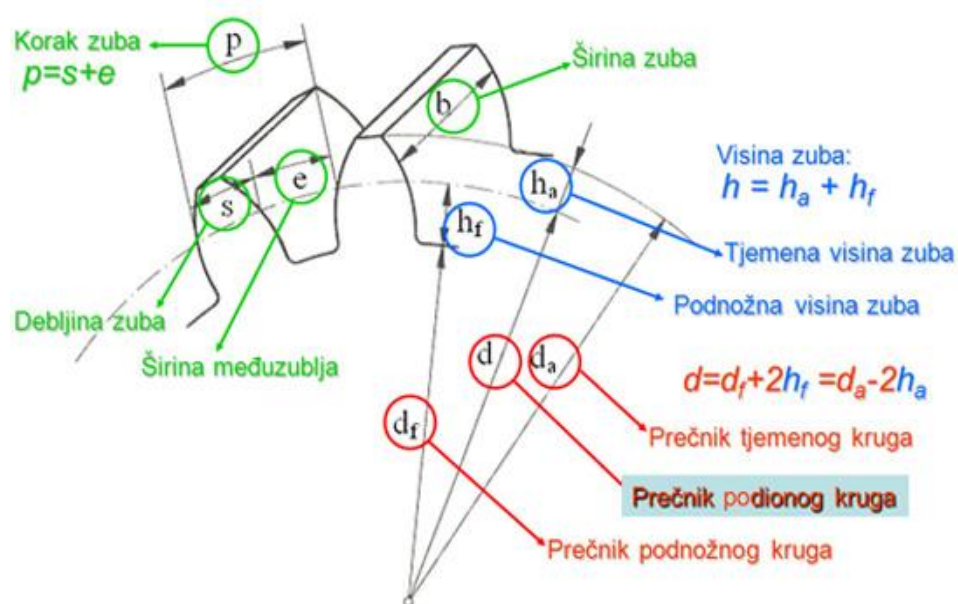
На самом крају рада дат је закључак и преглед прикупљених информација уз видео презентације свих метода.

2. ЗУПЧАСТИ ПРЕНОСНИЦИ – КАРАКТЕРИСТИКЕ И ГЕОМЕТРИЈА

Зуби су делови зупчаника помоћу којих се непосредно преноси кретање и оптерећење са једног зупчаника на други. Они су по висини ограничени теменом површином, а по дужини су ограничени чеоним површинама: предњом и задњом. Основне величине цилиндричног зупчаника су приказане на слици 2., а основне мере геометрије на слици 3.



Слика 2. Основне величине цилиндричног зупчаника [5]



Слика 3. Основне мере геометрије зупчаника [5]

2.1. Основни појмови за дефинисање геометрије цилиндричног зупчаника

Подеона површина (цилиндар) је замишљена површина која се налази између темене и подножне површине. Она дели зуб на два дела: главу зуба и ногу зуба.

Међузубље је простор формиран између два суседна зуба зупчаника. Оно је по дубини ограничено подножном површином зупчаника.

Бок зуба је површина зуба која се налази између темене и подножне површине. Посматрано у односу на предњу чеону површину, разликује се леви и десни бок зуба.

Глава зуба је део зуба између подеоне и темене површине.

Нога зуба је део зуба између подеоне и подножне површине.

Прелазни део бока зуба је део бока ноге зуба који спаја бок зуба са подножном површином.

Број зуба зупчаника (z) је збир зуба који је обухваћен подеоном површином. Ако подеона површина није затворена (подеона раван), број зуба је бесконачно велики.

Ширина зупчаника (b) је најкраће растојање између предње и задње чеоне површине.

Корак зуба зупчаника (p) је лучно растојање између истоимених профила (леви-леви или десни-десни) два суседна зуба, мерено на подеоном кругу. Он обухвата једну дебљину зуба и једну ширину међузубља.

Бочна линија зуба је линија пресека бока зуба и подеоне површине. На основу положаја бочне линије зупца у односу на осу обртања зупчаника, цилиндрични зупчаници се деле на зупчанике са правим, косим и стреластим зубима.

Подела зупчастих преносника могућа је: према положају осе вратила погонског и гоњеног зупчаника, према правцу зуба, према облику профила зуба, према принципу спрезања и сл.

Према положају осе вратила погонског и гоњеног зупчаника, разликују се:

- **Цилиндрични зупчасти парови** имају кинематске површине у облику цилиндра, а осе обртања су паралелне. Према облику зуба разликују се зупчаници са правим, са косим и са стреластим зубима, *слика 4*.



Слика 4. Цилиндрични зупчасти парови [6]

- **Конични зупчасти парови** имају кинематске површине у облику конуса. Осе обртања се секу, па је осно растојање $a=0$. Конични зупчаници могу бити са правим, косим и криволинијским зубима, слика 5.



Слика 5. Конични зупчасти парови [7]

- **Хиперболоидни зупчасти парови** имају кинематске површине у облику једнограних хиперболида. Средина (грла) хиперболида налази се на месту најкраћег (нормалног) растојања оса обртања. Могу бити: цилиндрични зупчаници са хеликоидним зубима, хипоидни зупчаници и пужни пар. Пужни пар је хиперболоидни зупчасти пар чије се осе укрштају најчешће под углом од 90° . Код пужних парова мали зупчаник назива се пуж, и има облик сличан навојном вретену. Велики зупчаник назива се пужни зупчаник и има облик прилагођен облику пужа. Положај пужа и пужног зупчаника је симетричан у односу на заједничку нормалу оса обртања, и у току спрезања бокови њихових зуба имају линијско додиривање, слике 6, 7 и 8.



Слика 6. Зупчаници са хеликоидним зубима [16]



Слика 7. Пужни пар [15]



Слика 8. Хипоидни зупчаници [17]

3. ПОСТУПЦИ ИЗРАДЕ ЗУПЧАНИКА

Зупчаници су машински елементи који служе за пренос обртног кретања са једног вратила на друго помоћу спрезања зуба зупчаника. Обзиром на широко подручје употребе пракса је омогућила да се изврши подела на више врста зупчаника у зависности од потребе. Тако се разликују цилиндрични, конични и хиперболоидни зупчаници. Сваке од ове три подгрупе поседују одређене предности и мане. Тако се цилиндрични зупчаници користе за пренос обртног кретања између паралелних вратила. На *слици 9.* су приказане врсте зупчаника.



Слика 9. Врсте зупчаника [8]

Цилиндрични зупчаници са правим зубима поседују не баш тако равномеран захват, и мали степен спрезања. Ова два недостатка се избегавају са косим зубима при чему треба напоменути веће површине које су у додиру, те стога и веће загревање код косих зуба. Осим тога код косих зуба се појављује још и аксијална сила која додатно оптерећује лежачеве. Спајање предности једног и другог приступа се врши са стреластим зубима, где се елиминише појава аксијалних сила, али је израда скупља.

Избор материјала за израду зупчаника зависи од више фактора као што су: оптерећење, начин израде, цена, квалитет, величина серије, бука и вибрације у току рада.

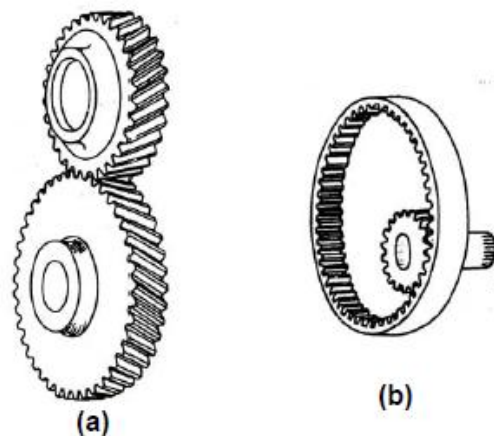
Материјали који се генерално користе за израду зупчаника су:

- 1) Метали (челик, сиви лив, нодуларни лив, црни темпер лив, челични лив, итд.),
- 2) Синтеровани материјали,
- 3) Пластичне масе.

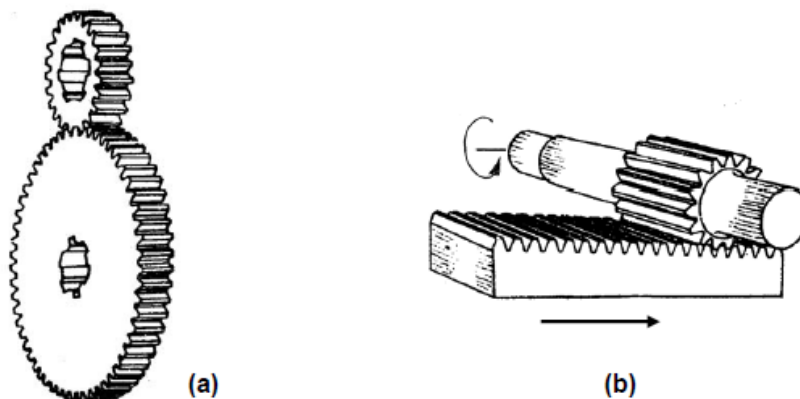
Челик је веома много примењиван, јер се могу постићи жељене карактеристике зупчаника у различитим поступцима термичке и механичке обраде. Зато се челик користи код средње и високо оптерећених зупчаника.

Сиви лив се примењује за израду ниско оптерећених зупчаника и при обимним брзинама. Нодуларни лив има боље особине у односу на сиви лив па се примењује у изради зупчаника и при већим оптерећењима. Црни темпер лив се примењује за израду зупчаника малих димензија, док се челични лив користи за израду ваљаних и кованих зупчаника.

Зупчаници могу бити и са спољашњим и са унутрашњим озубљењем (слика 10.):



Слика 10. Зупчаници са а) спољашњим и б) унутрашњим озубљењем [18]



Слика 11. Зупчасти систем а) ротација на ротацију б) ротација на трансляцију [18]

На слици. 11. је приказан зупчасти систем.

Постоје две методе обраде које се разликују по квалитету обраде, а то су: **метода претходне обраде** и **метода завршне обраде**.

Претходном обрадом се добија облик зуба резањем из пуног материјала али тај квалитет не задовољава захтеве. Глодањем, рендисањем или провлачењем се може постићи претходна обрада.

Завршном обрадом (брушењем, глачањем - полирањем, љуштењем) се обезбеђује висока тачност и квалитет обрађених површина и отклања се дефектни слој и топлотне деформације настале претходном обрадом.

Основни поступци израде зупчаника су:

- израда зупчаника глодањем
- израда зупчаника рендисањем
- израда зупчаника ваљањем
- израда зупчаника провлачењем
- завршна обрада зупчаника

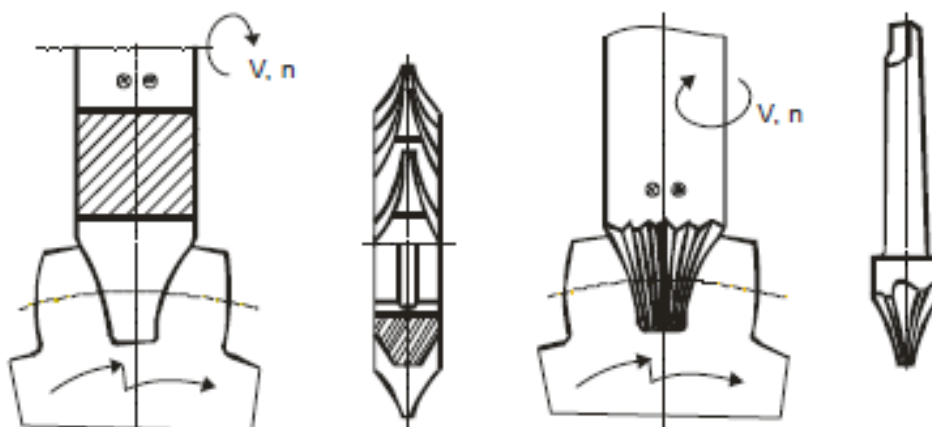
4. ИЗРАДА ЗУПЧАНИКА ГЛОДАЊЕМ

Што се тиче израде **цилиндричних зупчаника** глодањем постоје две методе израде:

- израда зупчаника појединачним резањем (зуб по зуб) ,
- израда зупчаника релативним котрљањем.

4.1. Израда зупчаника појединачним резањем

Помоћу подеоног апарата на универзалној, хоризонталној или вертикалној глодалици обавља се њихова појединачна израда. Уз модулно глодало (слика 12.) као алат врши се резање међузубља и после сваког пролаза радног предмета врши се окретање за један корак. Као алат се још могу користити и модулска вретена и катураста глодала.

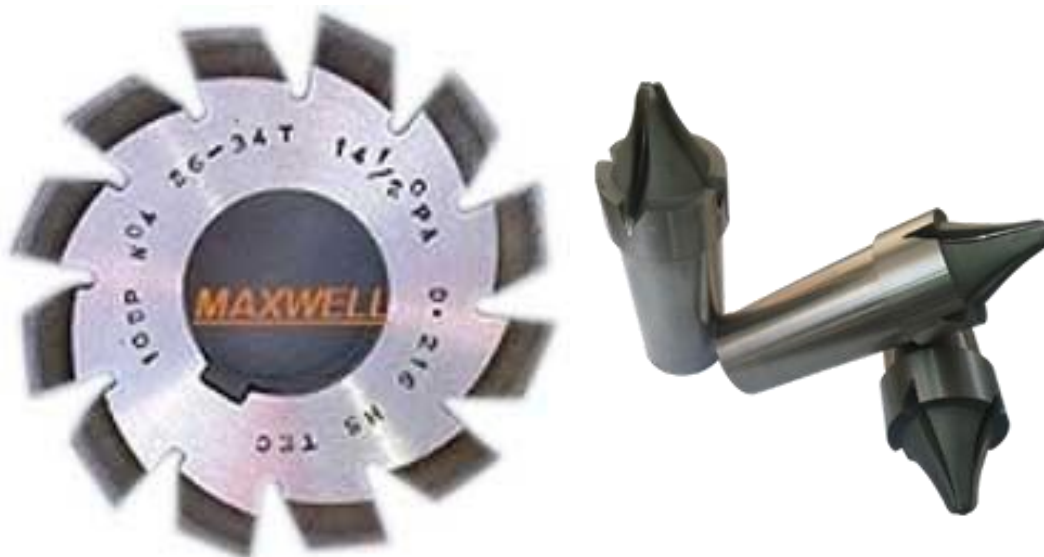


Слика 12. Израда зуба зупчаника а) катурастим модулним глодалом б) вретенастим модулним глодалом [2]

Само у недостатку специјалних машина за израду зупчаника које раде са већом тачношћу и продуктивношћу, примењује се појединачно резање зупчаника. Посебни допунски уређај са носачем катурастог глодала омогућава и резање зупчаника са унутрашњим озубљењем. Даљи рад ове машине се огледа у изради пужних точкова.

Цилиндрични зупчаници са угластим - стреластиим зубима се израђују на специјалним машинама коришћењем професионалног вретенастог глодала чији профил одговара профилу међузубља зуба

зупчаника. Глодало изводи главно обртно кретање и лагано праволинијско померање дуж изводнице предмета обраде. За то време предмет обраде изводи лагано обртно кретање прво у једном, а затим у другом смеру, чиме се постиже израда левоходе и десноходе завојнице. Након израде једног међузубља предмет обраде се, посредством подеоног апарата, помера за један корак. Котурасто и вретенасто модулно глодало су приказани на *слици 13.*



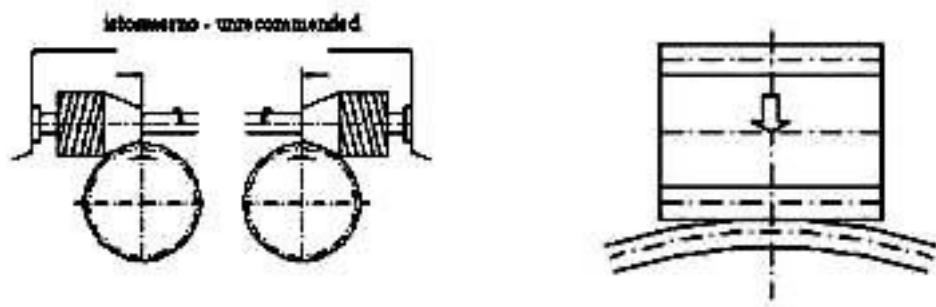
Слика 13. Котурасто и вретенасто модулно глодало [9]

4.2. Израда зупчаника релативним котрљањем

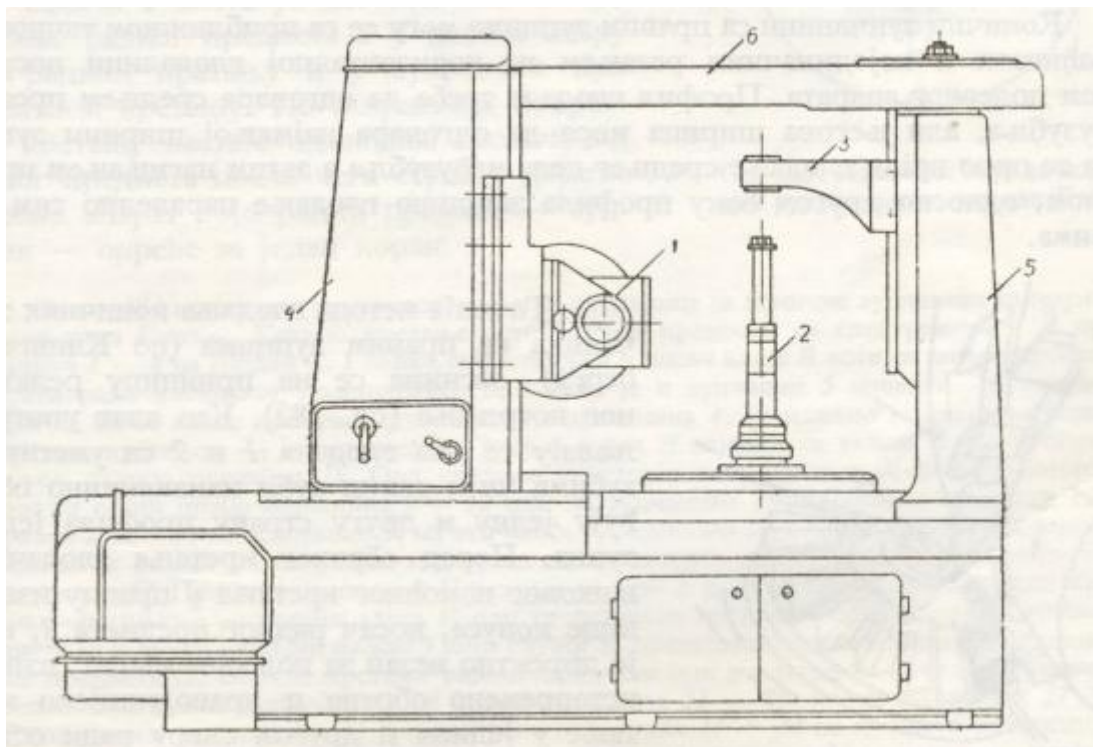
Поступак израде **релативним котрљањем** има више повољности јер осигурава бољи квалитет, већу тачност израде и већу продуктивност израде зупчаника. Поступак је заступљен на **Pfauter** машинама где се као резни алат користи одвално глодало.

Пужни точкови се израђују радијалном или тангецијалном методом. Код радијалне методе предмет обраде се радијално примиче алату, уз истовремено главно обртно кретање алата и помоћно обртно кретање предмета обраде. Тангецијална метода базира на примени глодала са непотпуним профилем на почетном делу (коничног облика). Тиме је обезбеђена прерасподела вишка материјала на поједине резне елементе. Процес резања се одвија тагенцијалним примицањем одвалног глодала, уз истовремено главно обртно кретање алата и помоћно обртно кретање предмета обраде. Међутим, због тангенцијалног померања алата принцип релативног кретања је нарушен, па је потребно и допунско обртно кретање предмета обраде. У недостатку одвалног глодала пужни точкови се могу израђивати и применом једносечног - једнозубног алата, уз тангецијално примицање алата и истовремено обртно кретање и алата и предмета обраде.

Тангенцијална и радијална метода израде пужних точкова, слика 14.:



Слика 14. Израда пужних точкова – метод Pfauter [25]

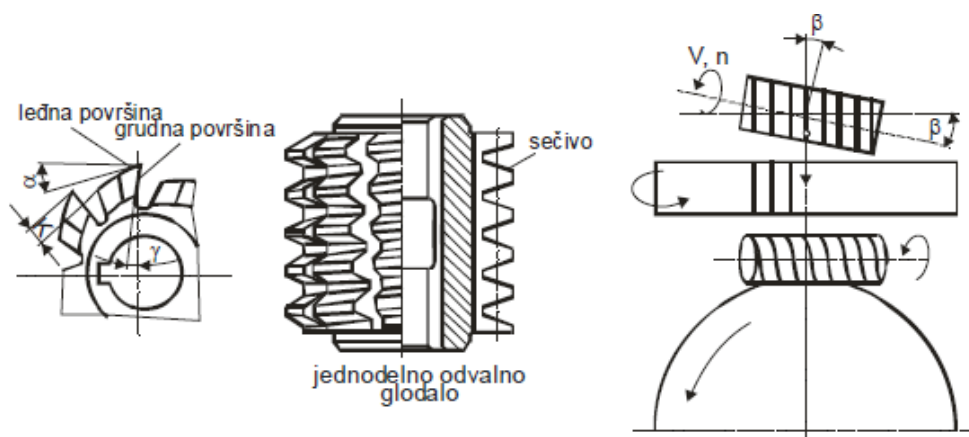


Слика 15. Изглед глодалице за зупчанике типа Pfauter [1]

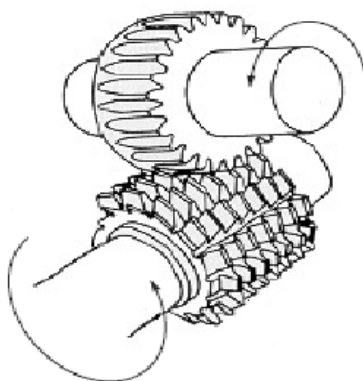
На слици 15. је приказан изглед глодалице за зупчанике типа Pfauter, а на слици 16. изглед машине Pfauter.



Слика 16. Pfauter машина за израду зупчаника [10]



Слика 17. Карактеристике одвалног глодала (лево) и израда цилиндричних зупчаника са правим зубима (десно) [2]



Слика 18. Израда зупчаника одвалним глодалом [22]

Израда и карактеристике глодала су приказане на сликама 17. и 18.

У току израде зупчаника одвално глодало има главно обртно кретање и истовремено помоћно праволинијско кретање паралелно оси зупчаника који се израђује, док предмет обраде има помоћно обртно кретање како би се добио жељени број зуба зупчаника.

Режим обраде при изради зупчаника одвалним глодањем је дефинисан аксијалним померањем алата S_r , mm/o , кораком S , mm/o, бројем обртаја алата n , o/mm.

Тип глодалица за израду зупчаника глодањем је *Pfauter*. Алат са носачем алата се вертикално помера и закреће око хоризонталне осе да би се закренило одвално глодало. Предмет обраде изводи помоћно обртно и помоћно праволинијско радијално кретање, док алат изводи главно обртно и помоћно аксијално праволинијско кретање. Примери одвалних глодала су приказани на *слици 19.*



Слика 19. Одвална глодала [11]

4.3. Израда коничних зупчаника глодањем

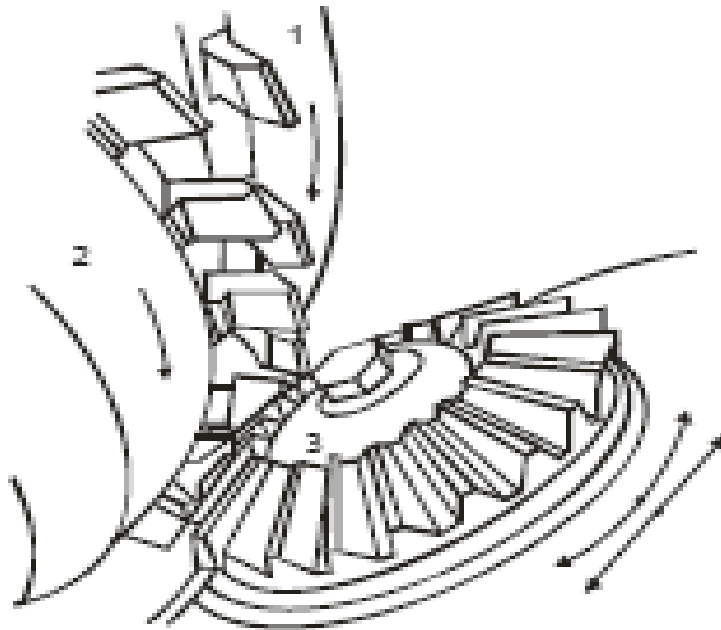
Израда коничних зупчаника глодањем захтева специјалне машине које се међусобно разликују у зависности од принципа по коме се остварују потребна кретања као и у зависности од типа коничних зупчаника.

Конични зупчаници са правим зупцима могу се са приближном тачношћу израђивати и појединачним резањем на хоризонталној глодалици посредством подеоног апарата. Профил зуба глодала, чија је ширина једнака минималној ширини међузубља, одговара средњем пресеку међузубља зуба зупчаника.

Методe серијске израде коничних зупчаника релативним котрљањем се деле према типу машине на: *Klingelnberg*, *Gleason*, *Fiat - Mammano*, *Oerlikon* и сл.

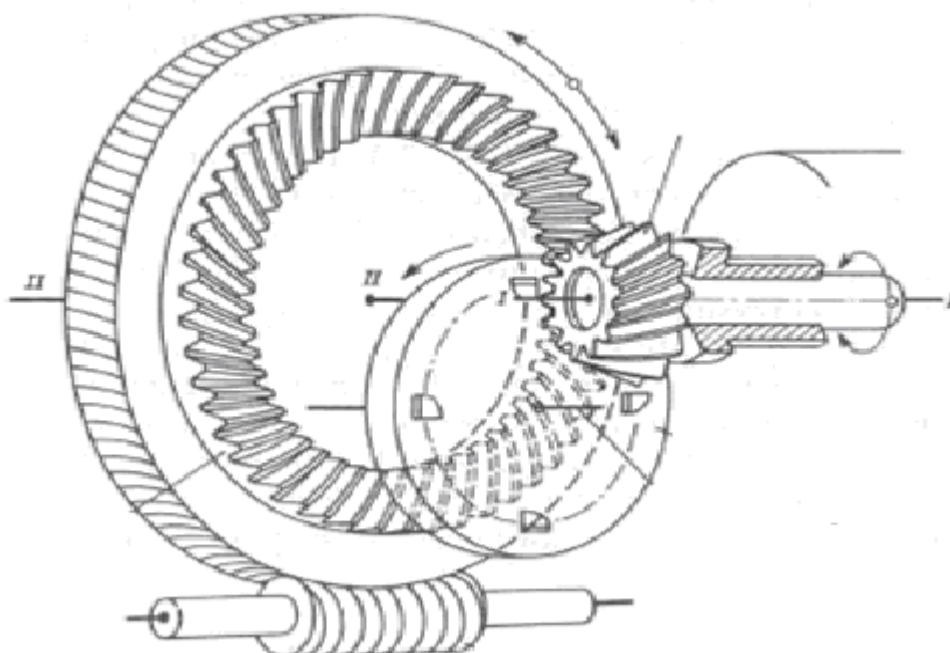
Klingelnberg метода (слика 20.) израде коничних зупчаника са правим и завојним зубима је најтачнија метода и базира на принципу релативног котрљања. Као алат се користе два глодала са уметнутим зубима који наизменично израђују једну и другу бочну површину зуба зупчаника.

Алат изводи главно обртно кретање и праволинијско померање дуж изводнице конуса, док предмет обраде изводи истовремено обртно и праволинијско осцилаторно кретање са циљем остваривања релативног кретања. Након израде једног зуба предмет обраде се, посредством подеоног апарата, помера за један корак.



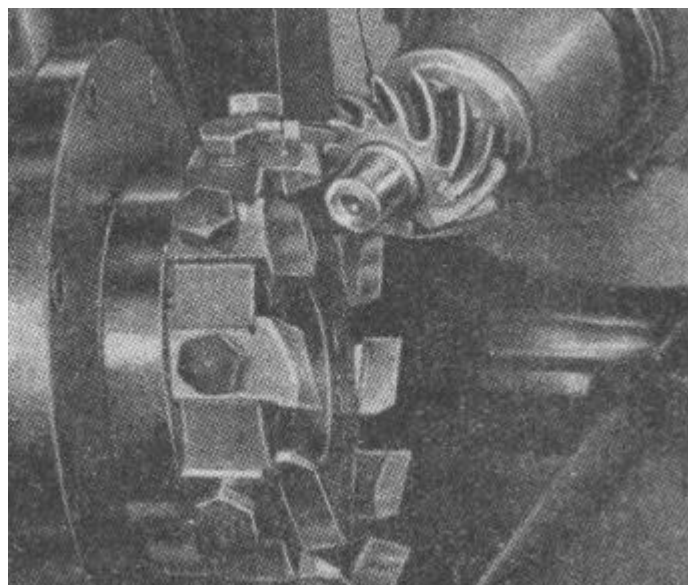
Слика 20. Глодање коничних зупчаника са правим зупцима по поступку Klingelnberg [2]

Gleason метода (слика 21.) је метода израде релативним котрљањем коничних зупчаника, периодично зуб по зуб. Као резни алат користи се глодало са уметнутим зубима распоређеним по кругу. Глодало изводи главно обртно кретање, док се релативно котрљање остварује лаганим обртним кретањем носача алата и предмета обраде, у једном смеру при радном и супротном смеру при повратном ходу.



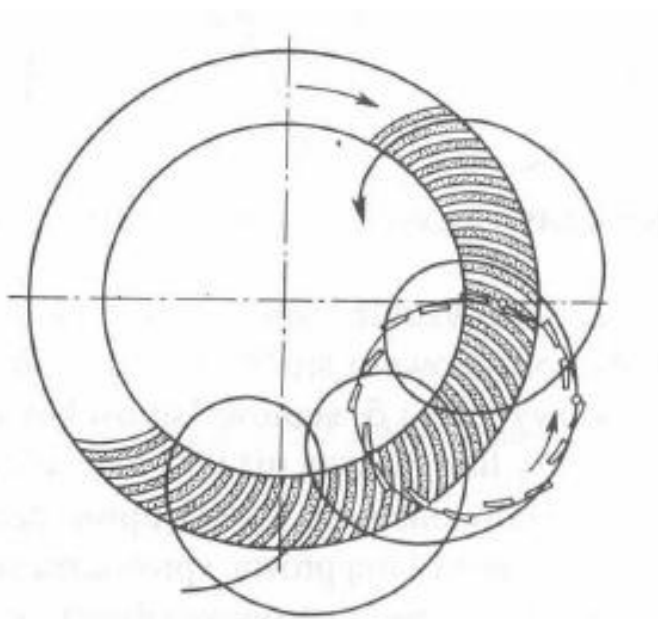
Слика 21. Израда коничних зупчаника методом Глизон [35]

Fiat - Mammano метода (слика 22.) је метода израде коничних зупчаника са завојним зубима по принципу релативног котрљања, уз континуално одвијање процеса израде. Као резни алат користи се глодало са уметнутим зубима (од 1 до 18 зуба) распоређеним по спирали. Глодало изводи главно обртно, а предмет обраде помоћно обртно кретање. Захваљујући распореду зуба, при једном обрту алата, израђује се једно међузубље. Што значи да по изласку задњег зуба из претходног међузубља, први зуб започиње резање новог међузубља, тако да се при једном пуном обрту алата предмет обраде закреће за један корак.



Слика 22. Израда коничног зупчаника методом Fiat – Mammano [35]

Oerlikon - Mammano метода (слика 23.) континуалне израде коничних зупчаника са завојним зубима по принципу релативног котрљања, користи глодало са уметнутим зубима. Зуби су груписани у групе од два или више зуба. Свака група се користи за израду једног међузубља. Код груписања у групе од два зуба један зуб доњом ивицом обрађује испупчену страну, а други зуб горњом ивицом издубљену страну међузубља зуба зупчаника. Алат изводи главно обртно, а предмет обраде помоћно обртно кретање. При једном обрту алата предмет обраде се окрене за онолико корака колико алат има група. Зуби алата описују епициклоиду. Оса предмета обраде је нагнута у односу на осу алата за угао нагиба корена зуба зупчаника. Метода обезбеђује израду коничних зупчаника са елоидним зупчењем, које се одликује константном висином зуба зупчаника дуж његове ширине.



Слика 23. Израда зупчаника методом Oerlikon – Mammano [35]

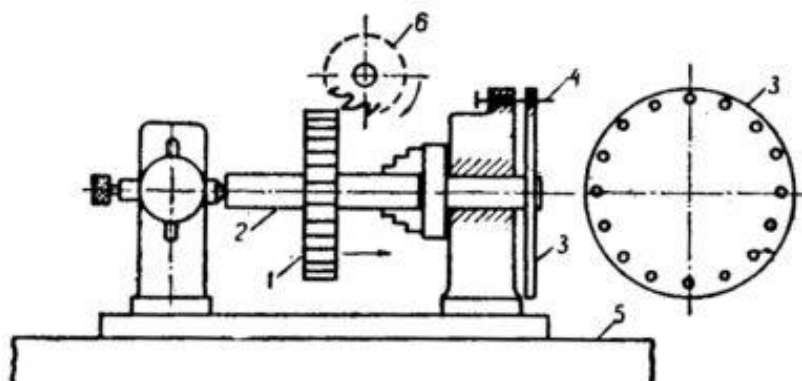
4.4. Подеони апарат

Подеони апарати се користе за остваривање различитог броја подела у малосеријској и појединачној производњи. Могу се поделити на: просте и универзалне, док универзални подеони апарати могу бити механички и оптички. Механички се израђује са измењивом групом зупчаника или планетарним преносником. Према остваривању поделе подеони апарати се могу поделити на подеоне апарате са:

- директним дељењем и
- индиректним дељењем.

Прости подеони апарати (слика 24.) припадају групи са директним дељењем, а то значи да је угао закретања предмета обраде једнак углу

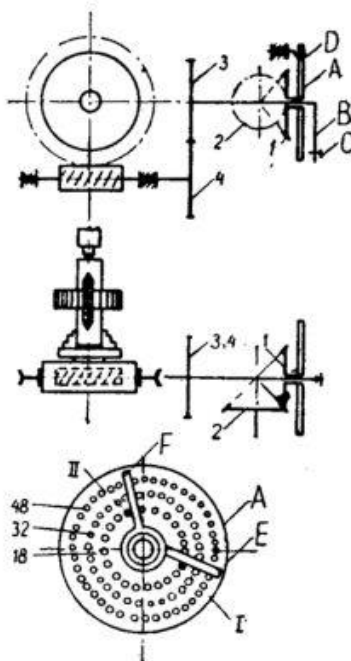
закретања подеоне плоче. Стезна глава прихвата стожер са предметом обраде.



Слика 24. Прост подеони апарат [36]

Универзални подеони апарати (слика 25.) припадају групи подеоних апарата са индиректним дељењем. Закретање ручице подеоног апарата се преко зупчаника преноси на пуж и пужни точак. Пужни точак је на истом вратилу на ком се и налази стезна глава која прихвата предмет обраде. У зависности од могућности реализације жељеног броја подела универзални подеони апарати обезбеђују три врсте дељења:

- једноструко,
- двоструко,
- диференцијално дељење.



Слика 25. Универзални подеони апарат [36]

4.5. Алати за израду зупчаника глодањем

Алати у обради глодањем – глодала спадају у вишесечне алате цилиндричног облика са резним елементима распоређеним по обиму или чеоној површини. Глодала се разврставају применом различитих критеријума. Према начину израде глодала могу бити са глоданим, леђно струганим и уметнутим зубима, а према конструкцији могу бити:

-једноделна глодала и

-вишеделна глодала и то са:

-уметнутим зубима

-лемљеним плочицама од тврдог метала

-механички причвршћеним плочицама алатних материјала

Према начину постављања на машину глодала могу бити:

-са коничном или цилиндричном дршком

-отвором – насадна глодала

Према врсти и облику постоје: ваљкаста, чеона, котураста, вретенаста, тестераста, профилна, вретенаста за Т-жљебове, конична итд.

Резни део глодала се израђује од материјала знатно веће тврдоће од обрађиваног материјала, а најчешће се користе брзорезни челици, тврди метали, кубни нитрид бора итд. Од брзорезног челика се израђује цело глодало.



Слика 26. Одвална глодала [19]

Одвална глодала (слика 26.) се израђују од брзорезних челика или са уметнутим сегментима са зубима од брзорезних челика.



Слика 27. Врсте одвалних глодала [19]



Слика 28. Котураста модулна глодала [19]

На сликама 27. и 28. су приказане врсте одвалних глодала.

4.6. Машине за израду зупчаника глодањем

Машине у обради глодањем или глодалице се деле према конструктивном решењу на:

- конзолне (хоризонталне, вертикалне, универзалне)
- безконзолне
- глодалице специјалне намене (алатне, копирне, агрегатне, програмске, одвалне)

У зависности од система управљања постоје: конвенционалне и програмске глодалице. Према положају главног вретена глодалице деле се на: хоризонталне и вертикалне, а према броју главних вретена на: једновретене и вишевретене.

Код конзолних глодалица кретања у уздужном, попречном и вертикалном правцу (правцу X, Y, Z оса) изводи радни сто па је крутост и стабилност радног стола, предмета обраде релативно ниска.

Безконзолне глодалице обезбеђују високу крутост и стабилност радног стола јер радни сто изводи два кретања (у уздужном и попречном или вертикалном правцу, правцу оса Y и X или Z) док носач алата изводи једно кретање у вертикалном или попречном правцу. Али најновије глодалице се израђују са једним кретањем радног стола а два кретања изводи носач алата. Примери машина за израду зупчаника глодањем су дати на сликама 29., 30 и 31.



Слика 29. Машина за израду зупчаника глодањем [34]



Слика 30. Машина за израду зупчаника глодањем [34]



Слика 31. Машина за израду зупчаника глодањем Pfauder [34]

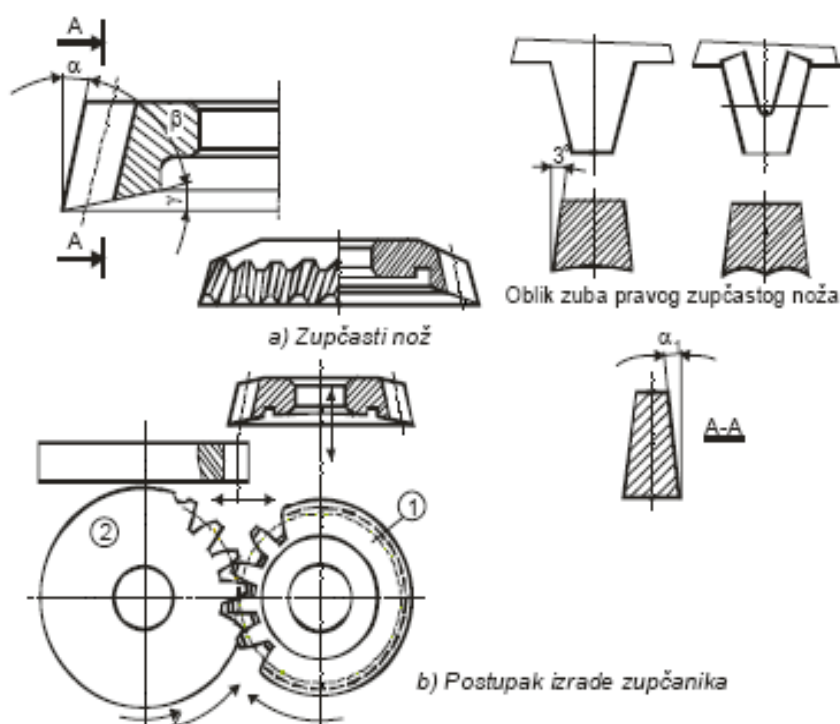
5. ИЗРАДА ЗУПЧАНИКА РЕНДИСАЊЕМ

Израда зупчаника рендисањем има и предности и мане у односу на глодање. Највећа предност је што има већу тачност израде, а мана је мања продуктивност.

Методе које су базиране на принципу **релативног котрљања**, заступљене и у серијској и масовној производњи, су: **Fellows** и **Maag** метода.

Fellows метода као алат користи кружни зупчасти нож који представља вишепрофилни алат у виду зупчаника.

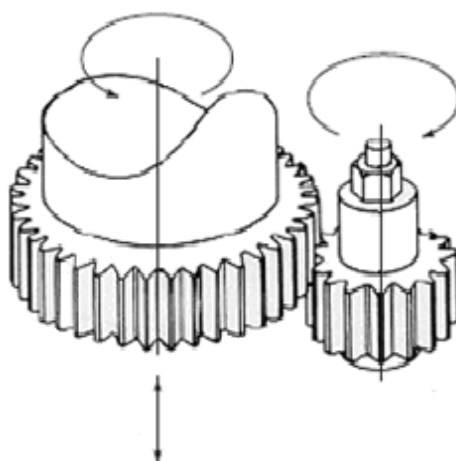
Алат изводи главно праволинијско кретање у вертикалном правцу уз истовремено обрно помоћно кретање. Радни предмет такође изводи помоћно обртно кретање и пошто се ова два обртна кретања изводе континуално остварује се релативно котрљање између алата и радног предмета. Обично се при кретању алата наниже обавља радни ход а у почетку рада се примиче носач алата радијално према радном предмету до одређене дубине уз истовремено вертикално кретање алата и уз релативно котрљање. На *слици 32.* су приказани алат и шема поступка израде цилиндричних зупчаника (метод Fellows), а израда зупчаника на *слици 33.*



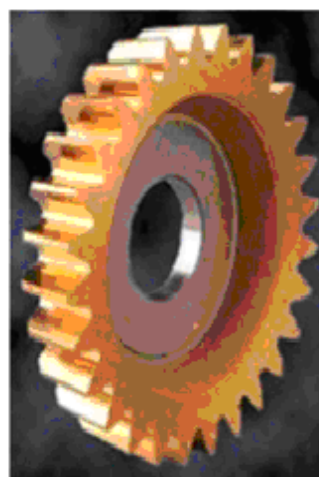
Слика 32. Алат и шема поступка израде цилиндричних зупчаника (метод Fellows) [2]



Слика 33. Израда зупчаника рендисањем метод Fellows [12]



Слика 34. Почетак операције са зупчастим сечивом за израду зупчаника рендисањем [22]

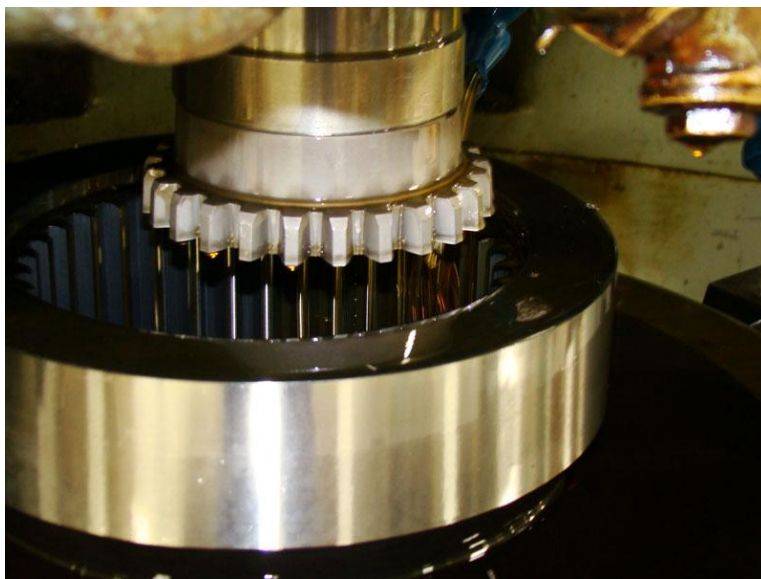


Слика 35. Кружни зупчасти нож [19]

Рендисање (слика 34.) је један од најсвестранијих поступака од свих при изради спољашњих и унутрашњих озубљења зупчаника. Предности код *Fellows* методе су висока тачност димензија и приступачна цена алата – кружног зупчастог ножа, као и већа продуктивност.

Уколико се ради о зупчаницима са завојним зубима, потребно је да и зуби алата имати завојни облик, док алат мора да изводи и допунско обртно кретање. На машини се ово допунско кретање остварује помоћу једне чауре са завојним жлебом одговарајућег нагиба у чији жлеб улази вратило алата, тако да ово вратило заједно са алатом изводи при вертикалном кретању поред основног обртног и допунско обртно кретање. Кружни зупчасти нож је приказан на слици 35..

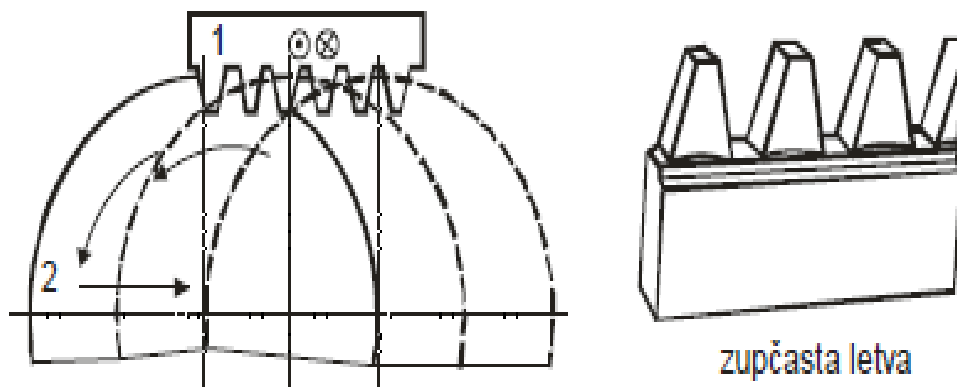
Зупчаници са унутрашњим озубљењем се израђују на истој рендисалци на исти начин као и зупчаници са спољашњим озубљењем (слика 36.).



Слика 36. Израда унутрашњег озубљења методом Fellows [24]

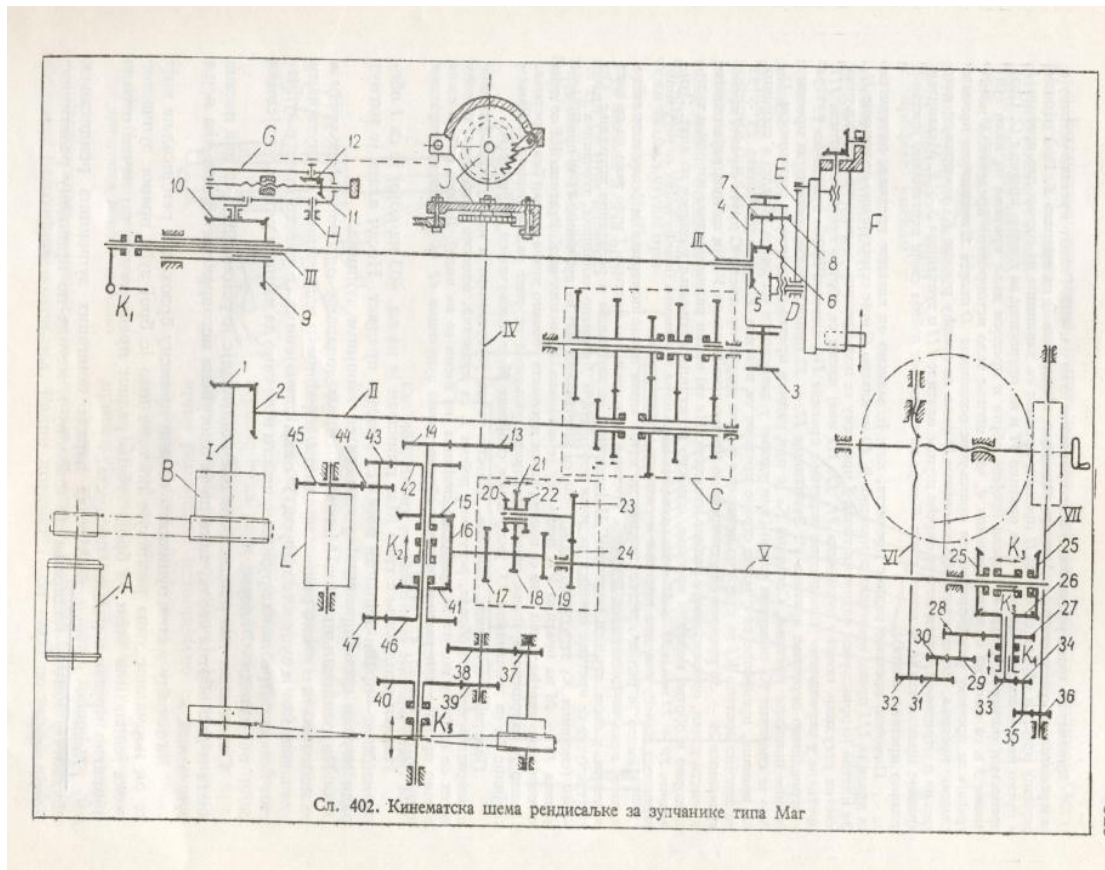
Мааг метода (слика 37.) користи као алат прави зупчасти нож облика зупчасте полуге, односно дела еволвентног зупчаника бесконачно великог пречника.

Алат изводи главно вертикално кретање, ако је у питању резање цилиндричних зупчаника са правим зубима, при чему је ход наниже радни ход. Радни предмет у виду обртног и праволинијског кретања дуж алата изводи помоћна кретања потребна за релативно котрљање. Релативно котрљање радног предмета према алату изводи се периодично и то по завршеном повратном ходу а пре радног, тако што се радни предмет окрене за малу вредност уз истовремено транслаторно померање дуж алата. Радни предмет када доспе до десног краја алата враћа се у свој првобитни положај транслаторним кретањем улево али без обртног кретања, због тога што је број зуба алата мањи од броја зуба радног предмета па не би били обрађени сви зуби. Углавном полука нема више од 6-12 зуба.



Слика 37. Израда цилиндричних зупчаника – метод Мааг [2]

Предности ове методе укључују веома високу тачност димензија и јефтин резни алат, као и једноставни поступак оштрења алата. Поступак се може користити за малосеријску и великосеријску производњу спољашњих озубљених зупчаника. Кинематска шема рендисаљке за зупчанике типа Маад је приказана на *слици 38.*



Слика 38. Кинематска шема рендисаљке за зупчанике типа Маад [1]

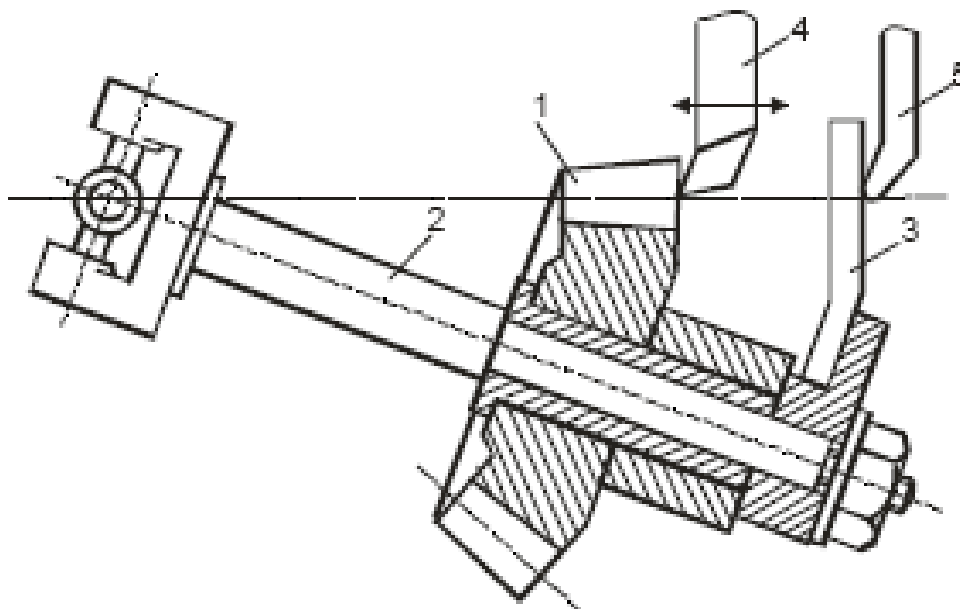
5.1. Израда коничних зупчаника рендисањем

Методе израде коничних зупчаника рендисањем обухватају методу копирања по шаблону и методе по принципу релативног котрљања. То су **Oerlikon**, **Bilgram**, **Gleason** методе.

Oerlikon метода (слика 39.) се обавља тако што се радни предмет поставља на стојер који је помоћу карданског зглоба прикључен на врху конуса. На том стојеру налази се шаблон чији је профил увећан у односу на профил зупчаника. Главно кретање обавља нож, односно рендисање у правцу изводнице конуса, док копирни шиљак који лежи у правцу кретања ножа обезбеђује нагињање система. Нагињањем

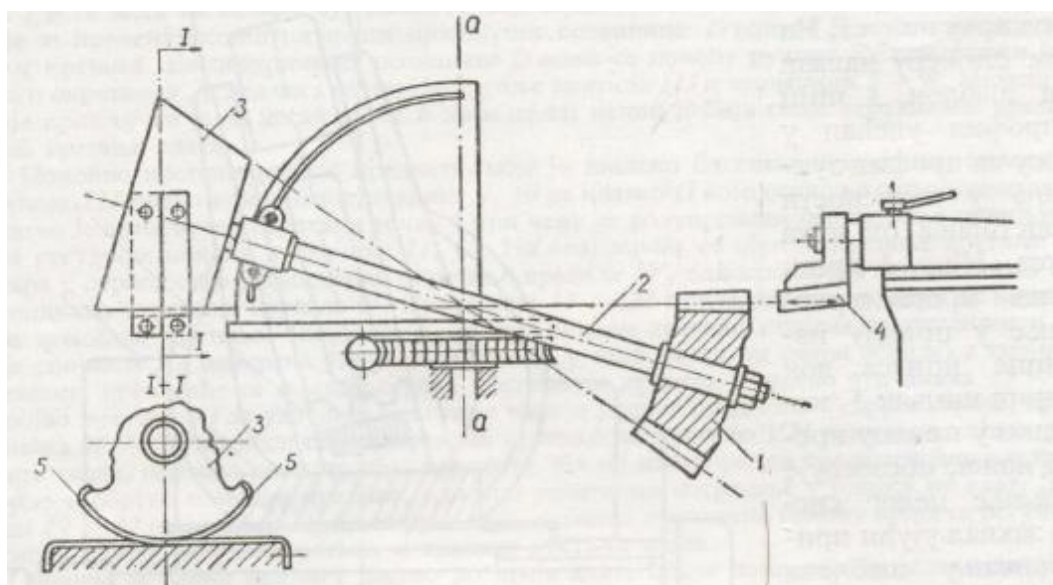
система се омогућава помоћно кретање радног предмета према ножу које омогућава копирање облика шаблона на радни предмет.

Новије машине врше рендисање истовремено са два ножа од којих један нож обрађује један профил зуба а други нож други профил.



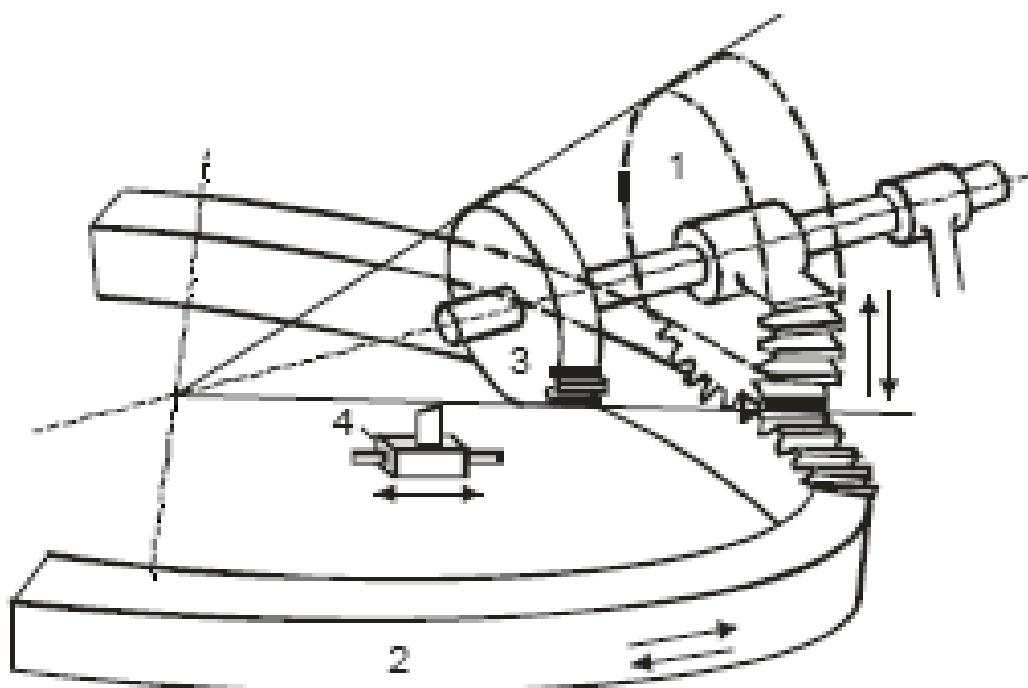
Слика 39. Oerlikon метода израде коничних зупчаника – метод копирања [2]

Bilgram метода (слика 40.) је заснована на принципу релативног кретања. На стожер се поставља радни предмет, а на други крај стожера је причвршћен конус чији је угао једнак углу конуса зупчаника. Нож који је причвршћен за носач алата, креће се увек у истом правцу. После сваког повратног хода ножа радни предмет односно зупчаник се окреће помоћу подеоног апарата за по један корак. Тако се кроз сваки ход обради иста изводница профила али на другом зубу. После једног обрта радног предмета окреће се лежиште стожера посредством пужастог преносника при чему истовремено преко стожера настаје котрљање конуса по подлози. Релативно котрљање настаје па се помоћу пужастог преносника истовремено остварују два кретања: окретање целог система око осе и окретање радног предмета око осе стожера.



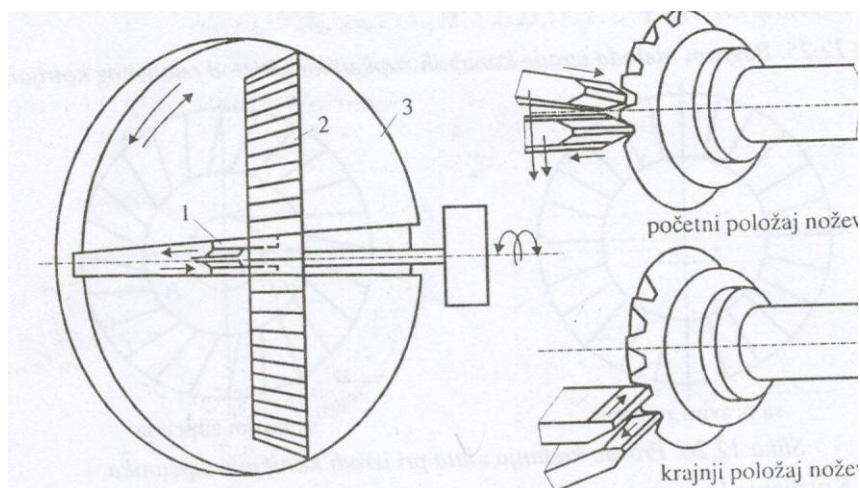
Слика 40. Принцип рада рендисаљке за коничне зупчанике типа Bilgram [1]

Gleason метода (слика 41.) израде коничних зупчаника са правим зубима је метода где се остварује релативно котрљање помоћу два конична сегмента. На осовини са радним предметом налази се зупчасти сегмент који је у додиру са другим одговарајућим сегментом. При кретању ножева врши се рендисање тако да један нож обрађује један профил а други нож други профил истог зупца. Када је један зуб завршен систем за релативно котрљање се враћа у првобитни положај а носач алата се одмиче од радног предмета после чега настаје дељење тј. окретање радног предмета за следећи корак.



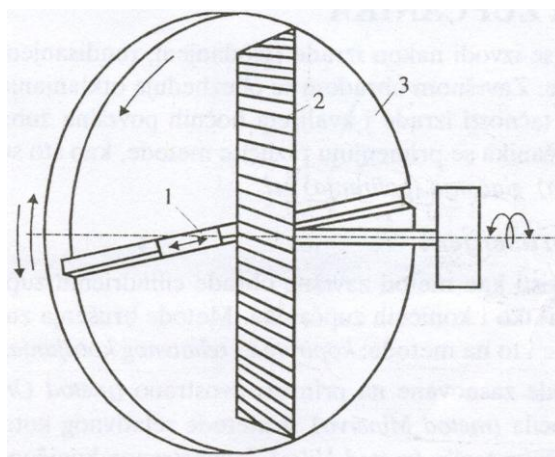
Слика 41. Gleason метода израде коничних зупчаника са правим зубима [2]

Heidenreich & Harbek метода (слика 42.) израде коничних зупчаника релативним котрљањем је метода код које се релативно котрљање обезбеђује системом измењивих зупчаника истовременим обртањем у истом смеру и предмета обраде и плоче са носачима алата. Машина има два алата при чему један изводи радни а други алат повратни ход. Сваки алат обрађује по једну страну профила зуба зупчаника. После израде једног зуба зупчаника, предмет обраде и плоча се враћају у почетни положај, када се изводи закретање предмета обраде за један корак, посредством подеоног апарата.



Слика 42. Израда зупчаника методом Heidenreich & Harbek [3]

Gleason метода (слика 43.) израде коничних зупчаника са завојним зубима се заснива на коришћењу једног алата и континуалном одвијању процеса израде зупчаника. Алат изводи главно праволинијско кретање, док се релативно котрљање остварује лаганим обртним кретањем предмета обраде и носеће плоче. Завојни облик зуба се постиже допунским обртним кретањем предмета обраде и кратким осцилаторним кретањем носеће плоче.



Слика 43. Израда коничних зупчаника са завојним зубима методом Gleason [3]

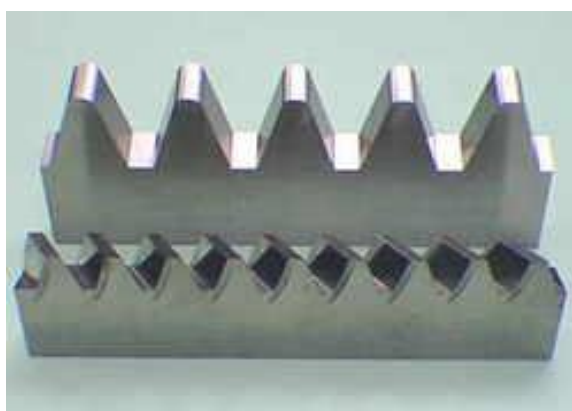


Слика 44. Gleason CNC машина [13]

Gleason CNC (слика 44.) машина представљена на слици дизајнирана је за обликовање цилиндричних и спиралних зупчаника и са спољне и унутрашње стране. Може бити обрађено више зупчаника у једном подешавању.

5.2. Алати за израду зупчаника рендисањем

Ножеви за рендисање су при уласку у захват изложени јаким ударним оптерећењима, да би при изласку из захвата наступило њихово растерећење. Такво скоковито оптерећење могу издржати само жилави материјали. Зато се за израду ножева за рендисање користе брзорезни челици и неке жилаве врсте тврдог метала. Код ножева већих димензија дршка алата се израђује од конструктивног челика, а резни део у виду плочица од брзорезног челика или тврдог метала. Плочице се постављају на дршку ножа лемљењем или механичким везивањем. На сликама 45. и 46. су приказани примери алата за рендисање.



Слика 45. Зупчаста полука за израду зупчаника рендисањем [9]



Слика 46. Кружни зупчasti ножеви за израду зупчаника рендисањем [19]

5.3. Машине за израду зупчаника рендисањем

Машине у обради рендисањем се прем дужини хода, начину остваривања кретања, деле на:

- краткоходе
- дугоходе

а према правцу главног кретања на: хоризонталне и ветикалне. Поред ових, универзалних рендисаљки, посебну групу чине специјалне машине намењене изради зупчаника, специјалних алата итд. На *сликама 47. и 48.* су приказане неке од машина за израду зупчаника рендисањем.



Слика 47. Машина за израду зупчаника рендисањем [20]



Слика 48. Машина за израду зупчаника рендисање [20]

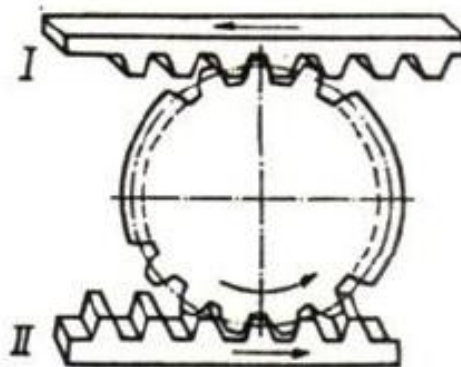
6. ИЗРАДА ЗУПЧАНИКА ВАЉАЊЕМ

Осим поступка израде зуба зупчаника резањем (и других елемената са озубљењима), при серијској и великосеријској производњи примењују се и поступци израде озубљења ваљањем у топлом и хладном стању материјала предмета обраде. При томе поступци ваљања зуба зупчаника имају већу производност у односу на поступке обраде резањем (глодање, рендисање) а одликују их друге предности међу којима су најважније: уштеда материјала, смањење обима накнадне обраде, побољшање квалитета. Израда зуба зупчаника ваљањем састоји се у утискивању профила алата у материјал предмета обраде при истовременом обртању предмета обраде и алата тј. релативном котрљању.

6.1. Израда зупчаника ваљањем на хладно

Алати за ваљање зуба зупчаника у хладном стању могу бити изведени у три основна облика према чему се разликују и поступци ваљања на овај начин: у облику зупчасте летве, у облику зупчаника и у облику пужа.

Хладно ваљање са зупчастим летвама (слика 49.) се састоји од две летве са жељеним озубљењем које се крећу у супротним правцима и тако врше ваљање предмета обраде који је центриран између те две летве и може слободно да ротира. Горња и доња летва имају транслаторно и синхронизовано кретање и истовремено се крећу па услед трења долази до ротације предмета обраде.

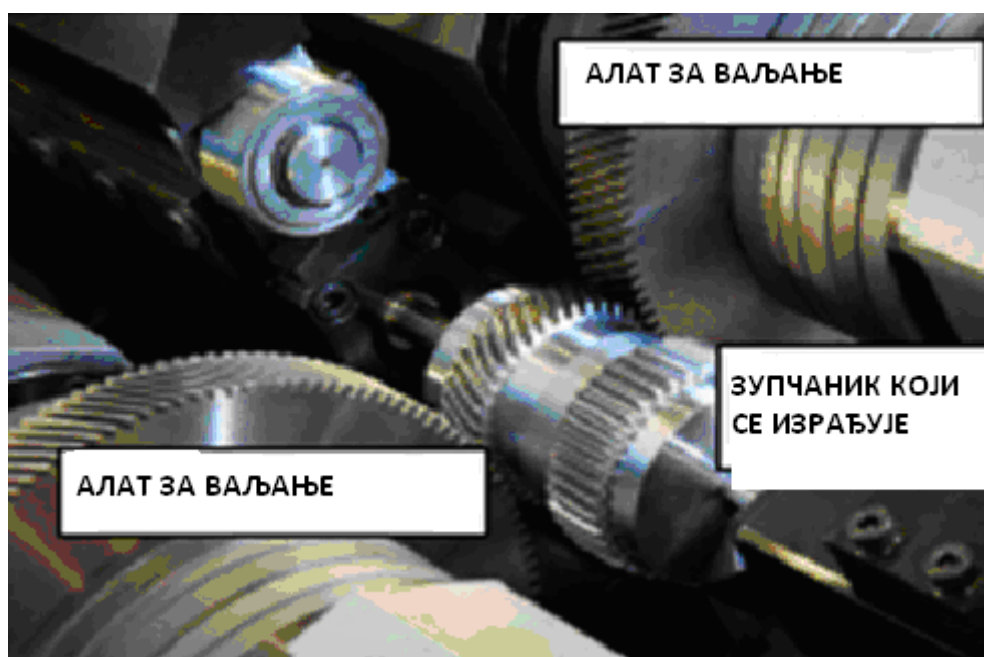


Слика 49. Израда зупчаника ваљањем на хладно помоћу зупчастих летви [31]

При изради зуба зупчаника у хладном стању јављају се велике силе деформисања, па машине за обраду ваљањем морају поседовати велику крутост. Такође, у процесу деформисања на хладно настаје ојачање материјала, услед чега се смањује постојаност алата за ваљање.

Ради тога се у последње време користе поступци израде озубљења пластичним деформисањем у хладном стању на принципу ударног дејства алата, чиме је омогућена и израда озубљења већег модула.

Хладно ваљање са алатима у облику зупчаника (слика 50.) се врши тако што су постављена два или три алата која синхронизовано ротирају у истом смеру са истом брзином и тако формирају зубе на предмету обраде који се налази центриран између алата. Предност ваљања са алатима у облику зупчаника је што је обртно кретање неограничено у односу на зупчасту летву која је ограничена дужином.

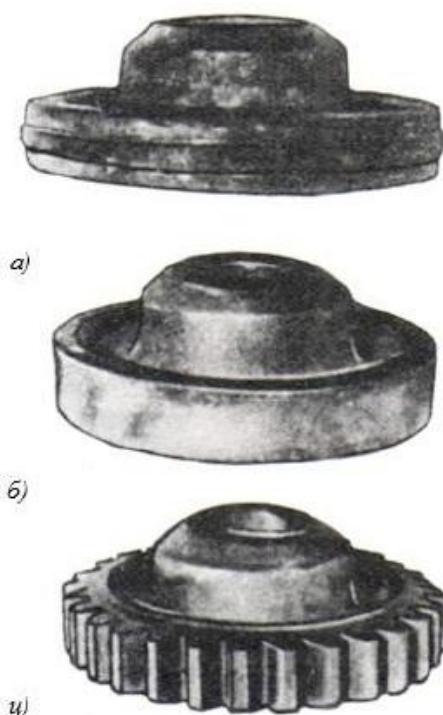


Слика 50. Израда зупчаника ваљањем на хладно са алатима у облику зупчаника [31]

6.2. Израда зупчаника ваљањем на топло

Израда зуба зупчаника ваљањем у топлом стању материјала примењује се код зупчаника већег модула. Загревање материјала (обратка) изводи се најчешће на самој машини за ваљање зуба, и то пре почетка извођења операције ваљања. При томе се загрева само венац припремка (зупчаника) до температуре око 1000- 1100 °С.

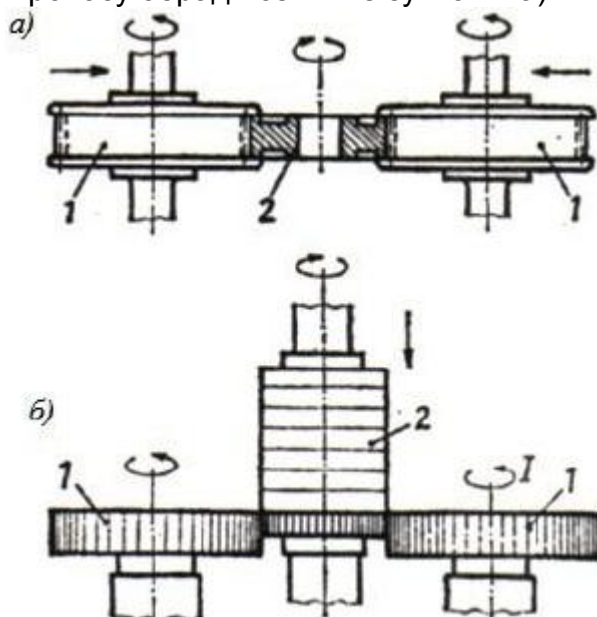
Технолошки процес израде зупчаника најчешће се састоји из следећих операција: израда припремка ковањем у калупу, калибрисање венца, израда зуба зупчаника ваљањем, калибрисање зуба, обрада централног отвора зупчаника и жлеба за клин и (евентуално, према потреби) брушење зуба, с тим да операцији брушења претходи термичка обрада.



Слика 51. Пример припремка за зупчаник после ковања у калупу (а), након калибрисања венца (б) и ваљањем зубаца (ц) [31]

На слици 51. је приказан пример припремка за зупчаник после ковања.

Машине за ваљање зуба зупчаника чешће се изводи са две или три алата, јер се тада уравнотежавају силе које оптерећује вратило са предметом обраде. При томе је могућа појединачна израда зупчаника или израда зубаца на више истих зупчаника, који се постављају на заједничко вратило и аксијално померају између алата за ваљање зубаца (у једном пролазу обради се више зупчаника).



Слика 52. Упрошћене шема машина за ваљање зупчаника: са два алата 1- алат, 2- припремак [31]

Шеме машина за ваљање су приказане на слици 52..



Слика 53. Савремена машина за ваљање зуба зупчаника у хладном стању [32]

На слици 53. је приказана савремена машина за ваљање зупчаника у хладном стању.

6.3. Алати за израду зупчаника ваљањем

Алати за ваљање зуба (слике 54. и 55.) зупчаника у хладном стању могу бити изведени у три основна облика према чему се разликују и поступци ваљања на овај начин: у облику зупчасте летве, у облику зупчаника и у облику пужа.

Израђују се од легираних алатних челика, термички обрађују и завршно обрађују брушењем и глачањем. Модул зуба алата одговара модулу зубаца зупчаника који се израђује.



Слика 54. Алати за израду зупчаника ваљањем [37]



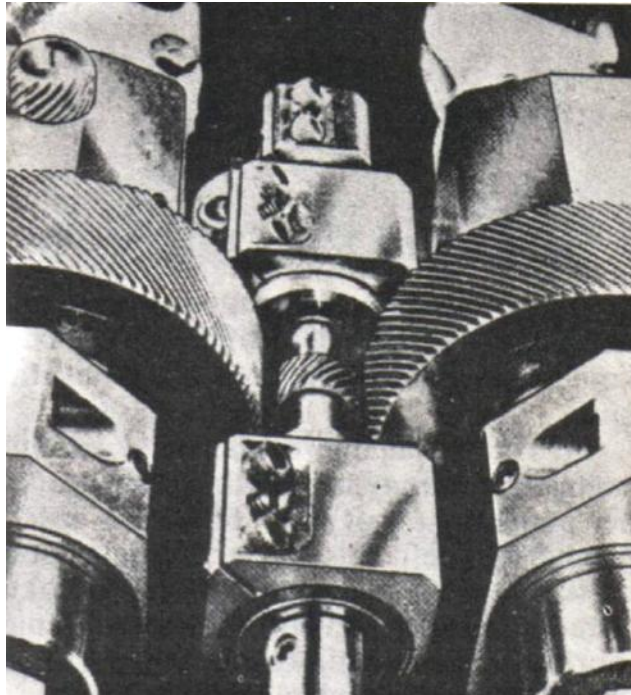
Слика 55. Алати за израду зупчаника ваљањем [37]

6.4. Машине за израду зупчаника ваљањем

Машине у изради зупчаника ваљањем (слике 56. и 57.) се углавном са два или три алата, због уравнотежавања сила које оптерећују вратило са предметом обраде, па је могућа појединачна израда зупчаника или израда зубаца на више истих зупчаника који се постављају на исто вратило и аксијално померају између алата.



Слика 56. Машина за израду зупчаника ваљањем на хладно [20]



Слика 57. Изглед зоне обраде машине за ваљање зупчаника [25]

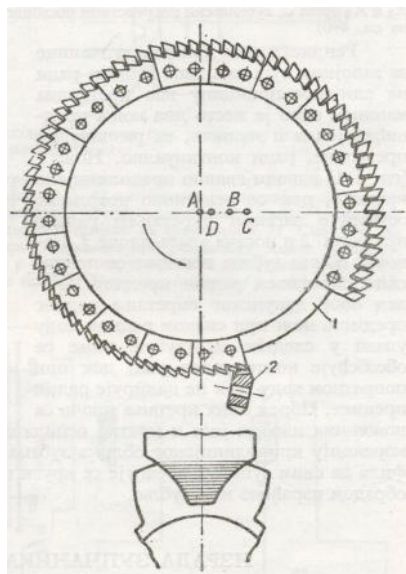
7. ИЗРАДА ЗУПЧАНИКА ПРОВЛАЧЕЊЕМ И ЗАВРШНА ОБРАДА ЗУПЧАНИКА

7.1. Израда зупчаника провлачењем

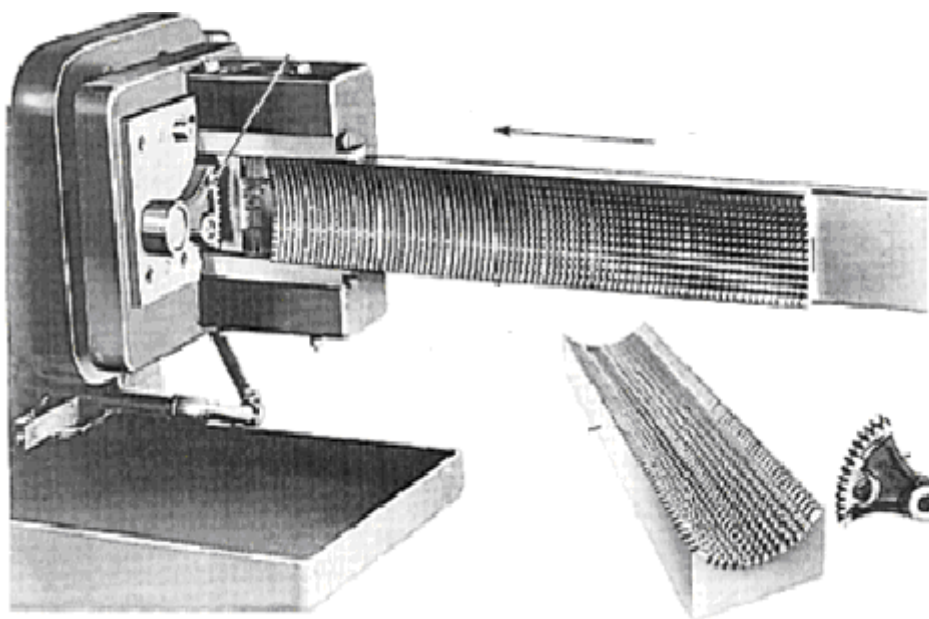
Израда зупчаника провлачењем је метода која се ретко примењује. Алат за провлачење нема универзалну примену због његове сложености па је неопходно да буде прилагођен облику међузубља у зависности од модула и од броја зуба зупчаника.

Израда цилиндричних зупчаника провлачењем се врши одговарајућим алатом чија контура одговара половини обима зупчаника. Алат је састављен од плоча чији се зуби сваке следеће повећавају и употпуњују, тако да последња одговара облику профила зуба. На вертикалној машини за спољно провлачење се изводи ова операција, а радни предмет је постављен у помоћни алат који по извршеном једном радном ходу okreће радни предмет за 180 степени да би се и друга половина зупчаника одрадила.

Израда коничних зупчаника провлачењем врши се на машини **Revacycle** (слика 58.). На тој машини се као алат користи провлакач који има 80 зуба распоређених по већем делу обима. Од средишта алата се постепено удаљују зуби, тако да су им врхови спирално распоређени. Првих 50 зубаца су намењени грубој обради, наредних 10 претходној завршној а осталих 20 завршној обради. Хоризонтала машина за провлачење је приказана на слици 59..



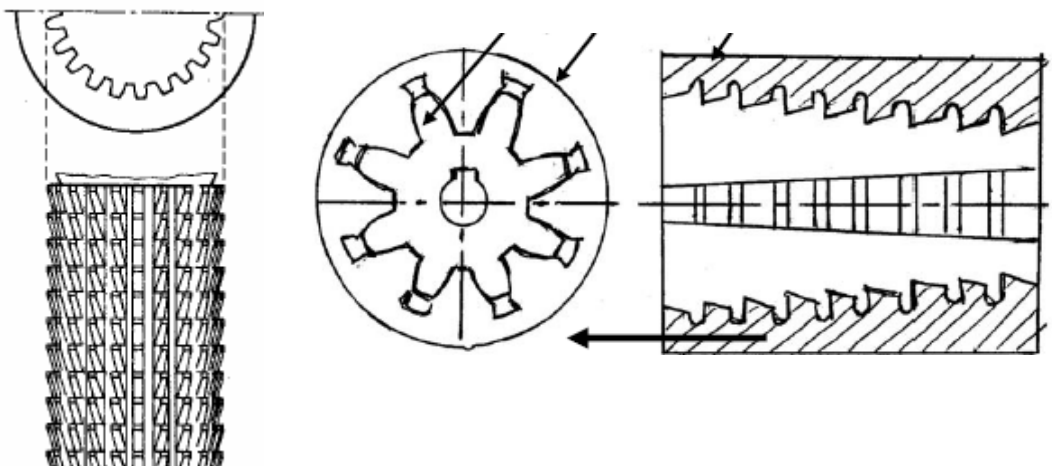
Слика 58. Израда коничних зупчаника провлачењем по методи Gleason – Revacycle [1]



Слика 59. Израда зуба зупчаника провлачењем на хоризонталној машини [22]

Провлачење је такође веома примењиво при изради унутрашњег озубљења. Процес је брз и производи фине површине са високом тачношћу димензија. Али провлачење је скуп процес па је примењен код високосеријске производње.

Провлачење се користи и за унутрашње и за спољашње озубљење зупчаника (слика 60.). Алат за провлачење за унутрашње озубљење се састоји од низа зуба у облику отвора на зупчанику, чија се величина повећава из сегмента у сегмент и тако формира жељени отвор на зупчанику.



Слика 60. Зупчаници са унутрашњим и спољашњим озубљењем настали провлачењем [25]

7.2. Завршна обрада зупчаника

После израде и термичке обраде обавља се завршна обрада зупчаника. Завршном обрадом се обезбеђује повећавање тачности израде, квалитет бочних површина зуба зупчаника, отклањање термичких деформација. Методе које спадају у завршну обраду су: **љуштење (бријање), брушење, глачање (полирање).**

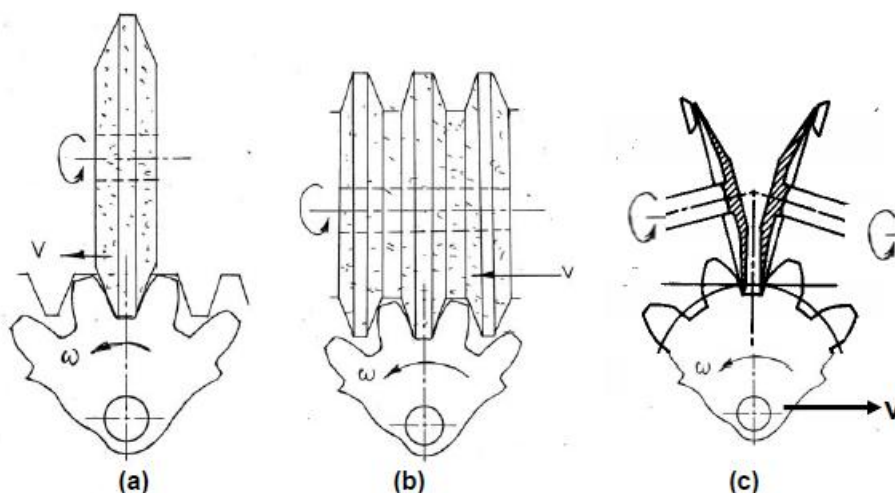
7.2.1. Обрада зупчаника брушењем



Слика 61. Спс машина за брушење зупчаника [14]

Ова *спс* машина (слика 61.) је дизајнирана за производњу зупчаника брушењем профилисаним тоцилом. Састоји се од 8 *спс* оса, омогућавајући тиме потпуно аутоматизован режим рада. Осим изузетног квалитета зупчаника такође обезбеђује високу стопу производње.

Брушење налази примену углавном код цилиндричних зупчаника са правим и завојним зубима, али ређе код коничних зупчаника. Најједноставнија метода брушења зупчаника је метода помоћу профилизованог тоцила. Разликују се методе помоћу једностраног и двостраног профилизованог тоцила. Брушење је метода са великом тачношћу али је прилично скупа и највише се користи у завршној обради код различитих врста и величина зупчаника. Различити типови брушења су приказани на *слици* 62..



Слика 62. Различити типови брушења [18]

Метода са двострано профилисаним тоцилом (**метода Orkut**) (слика 63.) представља копирну методу код које профил тоцила одговара профили међузубља, тако да се профил међузубља истовремено обрађује по целој контури. Добра страна копирних метода огледа се у великој продуктивности док тачност обраде заостаје за тачношћу обраде релативним котрљањем због неравномерног трошења тоцила код корена и темена зуба брушеног зупчаника.

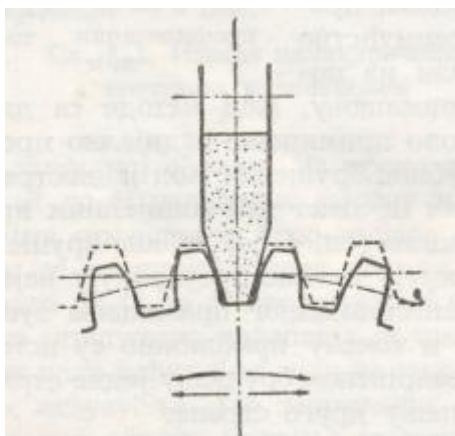


Слика 63. Брушење зупчаника профилним тоцилом а) двострано- метод Orkut б) једнострано профилисано тоцило- метод Minerva [5]

Метода Minerva тј. копирна метода са једностраним профилисаним тоцилом је од претходне методе повољнија јер има мању додирну површину између тоцила и радног предмета. При једном пролазу тоцило обрађује само једну страну профила. Код методе са двострано профилисаним тоцилом његово примицање врши се радијално према радном предмету ради постизања потребне дубине брушења. Код једнострано профилисаног тоцила примицање врши радни предмет тангенцијалним кретањем.

За брушење зупчаника релативним котрљањем користи се метода **Niles** (слика 64.). Као тоцило се употребљава двоструко конично тоцило чији

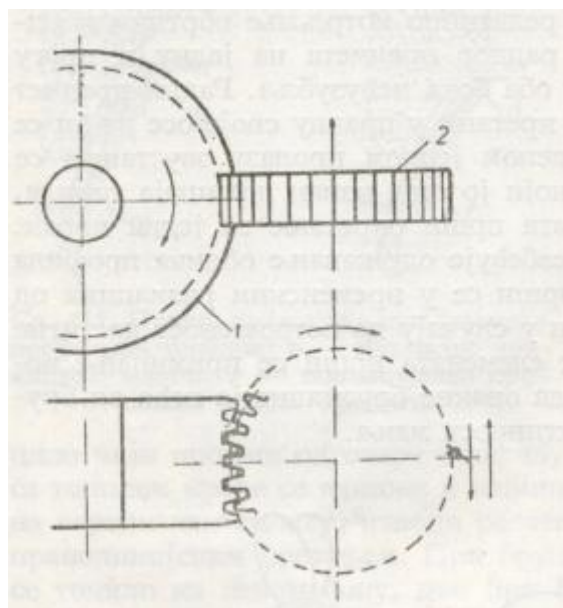
профил одговара профили зупчасте полуге. Тоцило се креће наниже и навише, а радни предмет изводи релативно котрљање истовременим обртним и праволинијским кретањем. Брушењем левог бока међузубља приљубљује се тоцило ка левом боку, док при брушењу десног бока приљубљује се десном боку, па се тиме обезбеђује брушење целог међузубља.



Слика 64. Брушење зупчаника по методи Niles [1]

Метода Maag користи два тањираста тоцила постављена у међузубље тако да њихове контуре одговарају једном зубу зупчасте полуге. Радни предмет обавља релативно котрљање обртним и одговарајућим праволинијским кретањем радног предмета на једну и на другу страну, па истовремено обрађује оба бока међузубља.

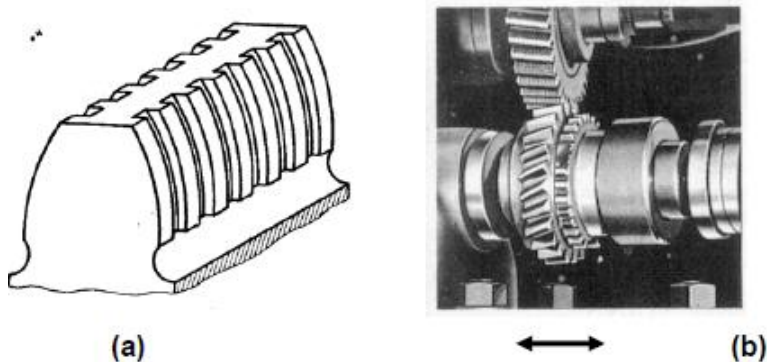
Метода Reishauer (слика 65.) је једина метода брушења која омогућава континуалан рад. Као алат користи пужасто тоцило, које је у захвату са радним предметом као пуж са пужастим точком. Истовременим главним обртним кретањем тоцила и помоћним обртним кретањем радног предмета се остварује релативно кретање. Радни предмет такође изводи и вертикално кретање да би се обезбедила обрада по целој дужини зуба, као и осцилаторно попречно кретање радног предмета у једном и другом смеру чиме се обезбеђује равномерније трошење тоцила. Код брусилнице *Reishauer* помоћу два синхрона електромотора, од којих један даје погон тоцилу а други радном предмету, остварена је зависност између обртног кретања тоцила и радног предмета да би се отклонила могућност грешака изазваних у кинематском систему машине.



Слика 65. Брушење зупчаника по методи Reishauer [1]

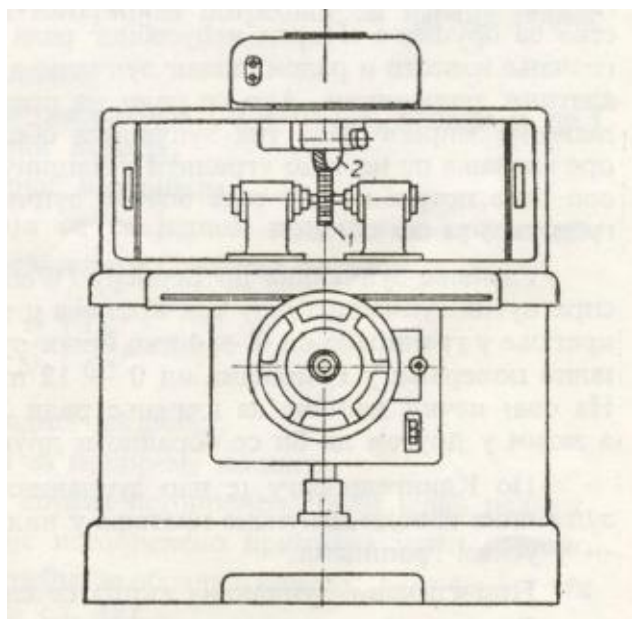
7.2.2. Обрада зупчаника љуштењем (бријањем)

Љуштење је метода завршне обраде где се спрежу зупчаник и радни предмет са једним алатним зупчаником чије су површине зуба радијално ижлебљене због добијања ивица за резање. Ове ивице не представљају сечиво па се на овај начин скидају слојеви материјала од око 0,1 мм дебљине. Због остваривања кретања потребног за резање, мора постојати нагиб зуба алата према зубима радног предмета, чиме се постиже бочно клизање између њих. На слици 66. су приказани зуб алата и поступак љуштења.



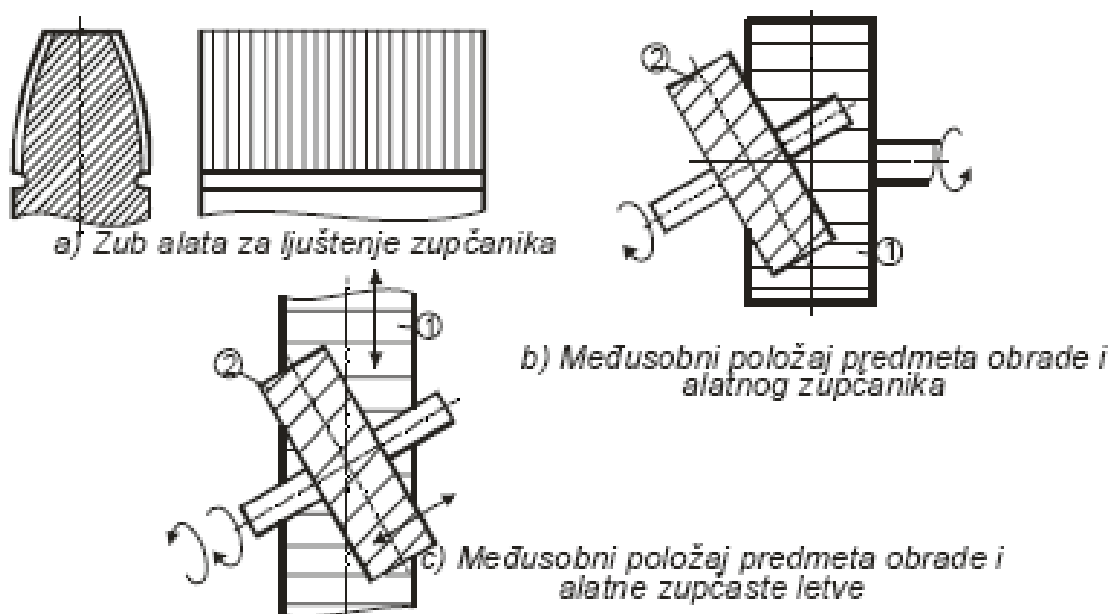
Слика 66. а) зуб алата и б) поступак љуштења [18]

Најчешће се љуштење примењује код зупчаника са спољашњим озубљењем са правим или завојним зубима и пужних точкова израђених од челика (за цементацију, побољшање, пламено каљење), сивог лива, нодуларног лива, итд. Машина за љуштење је приказана на слици 67..



Слика 67. Машина за љуштење зупчаника [1]

Љуштење зупчаника представља веома продуктивну методу завршне обраде која се примењује пре термичке обраде а после претходне обраде зупчаника глодањем, рендисањем или провлачењем. Изглед резног алата и међусобни положај алата и предмета обраде при љуштењу зупчаника су приказани на слици 68..



Слика 68. Изглед резног алата и међусобни положај алата и предмета обраде при љуштењу зупчаника [2]

7.2.3. Обрада зупчаника глачањем (полирањем)

Глачање зупчаника је поступак завршне обраде оних зупчаника који се после термичке обраде накнадно не обрађују брушењем а код којих се захтева висок квалитет обрађене површине. Глачање се остварује међусобном радним кретањем два спрегнута зупчаника који сем релативног котрљања изводе још и нека допунска кретања због постизања равномерног брушења по целој површини профила. Поред међусобног рада два спрегнута зупчаника, глачање се може извести и радом сваког зупчаника посебно са једним тачно израђеним алатним зупчаником. Када се изводи релативним котрљањем два спрегнута зупчаника додају се неопходна допунска кретања и средства за глачање (течности са абразивом). Овако упарени зупчаници се заједно уграђују у склоп преносника.

7.3. Алати за израду зупчаника провлачењем и завршну обраду зупчаника

Алати за провлачење (провлакачи) спадају у групу специјалних алата, због своје сложености и тачности израде. Деле се на провлакаче за:

- унутрашње и
- спољашње провлачење.

Провлакачи за унутрашње провлачење се најчешће израђују као интегрални алати од брзорезног челика. Могу бити оплеменењени превлакама од ТиН (титанијум-нитрида). Састоје се од пет карактеристичних делова: предњег прихватног дела, водећег дела, резног дела, калибрирајућег дела и задњег прихватног дела.

Провлакачи за спољашње провлачење се израђују од брзорезног челика или са сегментима од тврдог метала. Провлакачи од брзорезног челика се могу оплеменити и превлакама од ТиН. По конструкцији су знатно сложенији од провлакача за унутрашње провлачење и састоје се од више сегмената, намењених обради појединих делова контуре предмета обраде. Сегменти се састоје од резног дела са зубима за грубу и фину обраду и монтирају се на основну плочу.

Алати у обради брушењем - брусне плоче или тоцила могу се према облику разврстати на: котураста, лончаста, конична, тањираста, обручна, тоцила са дршком или навртком и сегментна. За израду тоцила користе се два основна материјала:

- брусни и
- везивни материјал.

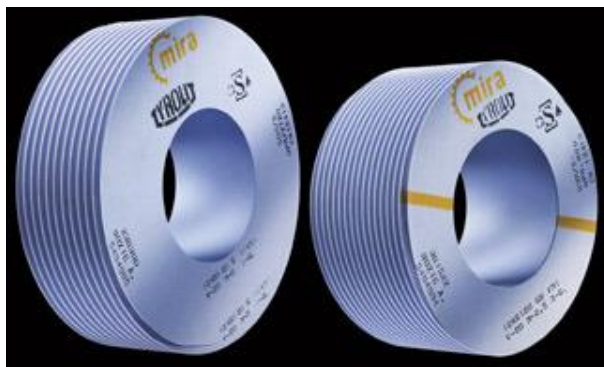
Брусни материјал представља ситна зрна различитог облика природног или вештачког порекла, док везивни материјал обезбеђује повезивање зрна брусног материјала у једну компактну и функционалну целину која се зове тоцило. Алати за провлачење су приказани на *слици 69.*



Слика 69. Алати за провлачење [9]



Слика 70. Алати за завршну обраду љуштењем [38]



Слика 71. Алати за брушење зупчаника при завршној обради [38]

Алати за завршну обраду љуштењем и брушењем су приказани на сликама 70. и 71..

7.4. Машине за израду зупчаника провлачењем и завршну обраду зупчаника

Машине у обради провлачењем – провлакачице се разврставају према намени (врсти производне операције провлачења) на провлакачице за:

- унутрашње и
- спољашње провлачење.

Према правцу кретања алата и намени се деле на: хоризонталне и вертикалне провлакачице.

Машине у обради брушењем (брусилице) се деле према намени на брусилице за:

- спољашње и унутрашње кружно брушење
- равно брушење
- брушење без шиљака
- специјална брушења.

Машине за полирање су обично једноставне конструкције. На радном вретену машине се налази диск за полирање, који се обрће великом брзином. Машина је опремљена и уређајем за усисавање прашине настале у процесу обраде. Поред класичних машина користе се и машине са два диска, где је водећи диск израђен од плуте. Маachine за провлачење и завршну обраду зупчаника су приказане на *сликама 72., 73., 74. и 75.*



Слика 72. Машина за израду зупчаника провлачењем [20]



Слика 73. Машина за завршну обраду зупчаника брушењем [20]



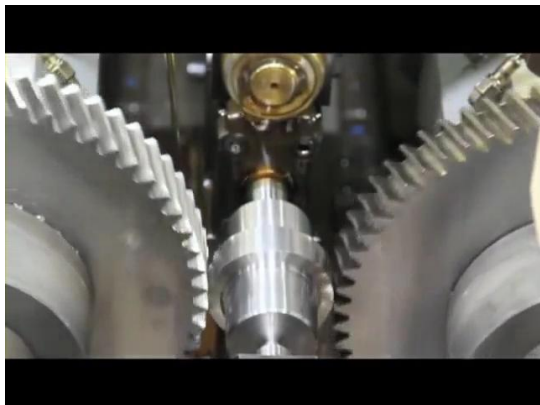
Слика 74. Машине за завршну обраду зупчаника полирањем [20]



Слика 75. Машина за завршну обраду зупчаника бријањем(гјуштењем) [20]

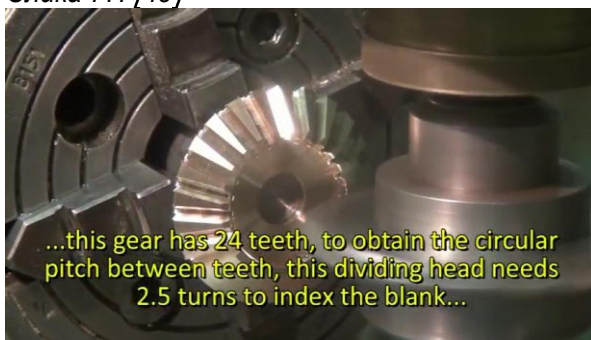
8. ВИДЕО ПРЕЗЕНТАЦИЈЕ

Слика 76. [39]



Ваљање на хладно, као алати се користе два кружна зупчаста ножа која обрађују предмет обраде уз средство за хлађење и подмазивање.

Слика 77. [40]



Поступак израде коничног зупчаника глодањем. Као алат се користи корасто модулно глодало, на принципу зуб по зуб. Обрађује се спољашња страна.

Слика 78. [41]



Fellows метода као алат користи кружни зупчасти нож који представља вишепрофилни алат у виду зупчаника. Алат изводи главно праволинијско кретање у вертикалном правцу уз истовремено обрно помоћно кретање.

Слика 79. [42]



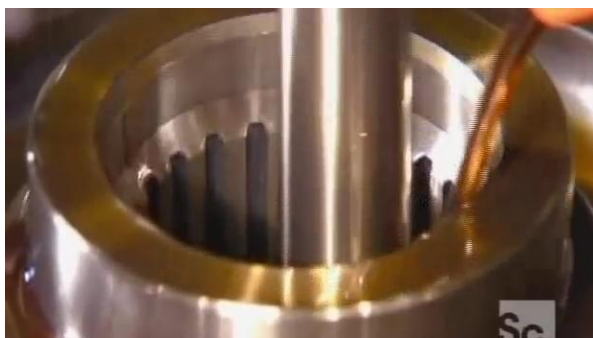
У овој видео презентацији су приказане различити поступци и методе везане за израду зупчаника.

Слика 80. [43]



Овде је приказан поступак израде зупчаника глодањем. Као алат се користи одвално глодало, а предмет обраде се израђује у зупчаник са завојним зубима.

Слика 81. [44]



Титанијумски зупчasti кружни нож израђује праве зубе са унутрашње стране зупчаника поступком рендисања.

Слика 82. [45]



На овој видео презентацији се може видети како се поступком глодања израђује спољашње озубљење једног зупчаника великих димензија. Израђују се прави зуби користећи као алат одвално глодало.

Слика 83. [46]



Маад метода израде зупчаника је приказана. Зупчастим ножем се израђују прави зуби на зупчанику великих димензија са спољашње стране.

Слика 84. [47]



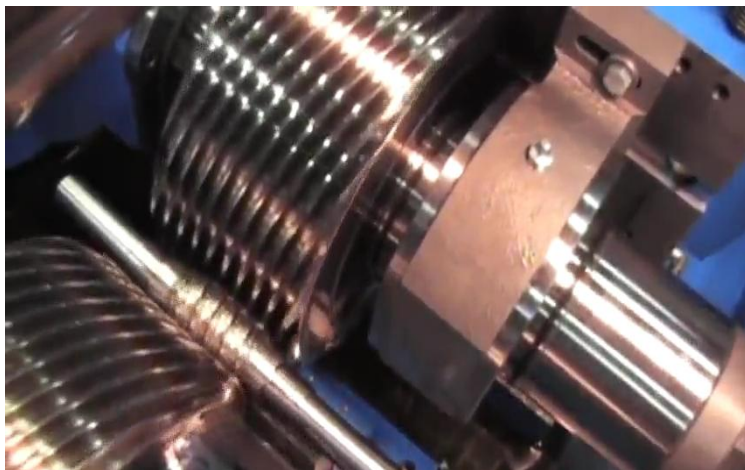
За брушење зупчаника релативним котрљањем користи се метода *Niles*. Као тоцило се употребљава двоструко конично тоцило чији профил одговара профилу зупчасте полуге. Тоцило се креће наниже и навише, а радни предмет изводи релативно котрљање истовременим обртним и праволинијским кретањем. Као што је приказано на датој видео презентацији.

Слика 85. [48]



Пужно глодало израђује специјално озубљење на зупчанику са спољашње стране.

Слика 86. [49]



Хладно ваљање са алатима у облику зупчаника се врши тако што су постављена два алата која синхронизовано ротирају у истом смеру са истом брзином и тако формирају зубе на предмету обраде који се налази центриран између алата.

Слика 87. [50]



Израда правих зуба зупчаника котурастим модулним глодалом, један по један зуб, са спољашње стране.

Слика 88. [51]



Поступак израде коничног зупчаника са завојним зубима. Као алат се користи глодало са уметнутим зубима. Глодало изводи главно обртно, а предмет обраде помоћно обртно кретање.

9. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је извршена анализа и приказ података прикупљених у циљу бољег разумевања свих поступака везаних за израду зупчаника и уједно представља завршни рад на основним студијама на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу.

У првом делу рада описане су карактеристике зупчаника и основне величине зуба, и то су веома битни подаци када је у питању рад са зупчаницима. Даље су детаљно објашњени сви поступци израде зупчаника: глодањем, рендисањем, ваљањем, провлачењем и завршна обрада зупчаника. Предност примене свих поступака израде на принципу релативног котрљања је што се једним истим алатом за један модул могу израђивати зупчаници са произвољним бројем зуба.

Израда зупчаника рендисањем представља поступак који одликује већа тачност израде у односу на глодање, али и мања продуктивност, док се у односу на поменуте поступке израда зупчаника провлачењем ретко примењује.

Поред поступка израде зуба зупчаника резањем (и других елемената са озубљењима), при серијској и великосеријској производњи примењују се и поступци израде озубљења ваљањем у загрејаном и хладном стању материјала предмета обраде који су такође објашњени у овом раду.

За виши квалитет тачности израде профила зуба, после израде рендисањем односно глодањем врши се завршна обрада љуштењем, брушењем или глачањем. Познато је да виши квалитет тачности израде омогућује мање зазоре у преноснику, већу тачност у преносу кретања, смањење буке и вибрација као и већу носивост.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Станковић П., Машинска обрада, Издавачко предузеће ГРАЂЕВИНСКА КЊИГА, Београд, 1971. ;
- [2] Недић Б., Лазић М., Обрада метала резањем, Машински факултет Крагујевац, Крагујевац, 2007. ;
- [3] Лазић М., Технологија обраде метала резањем, Машински факултет Крагујевац, Крагујевац, 2002.
- [4] <http://www.agroengineers.com/worm-shaft-worm-gears.shtml> август 2014.
- [5] Митровић Р. , Машински елементи 2, 2007, завод за уџбенике, Београд
- [6] <http://www.alatnica-lazarevic.co.rs/galerija.html> август 2014.
- [7] <http://zanimljivielementi.wordpress.com/> август 2014.
- [8] <http://www.autonet.hr/prijenos-snage-ii> август 2014.
- [9] <http://trade.indiamart.com/details.mp?offer=3373821167#> август 2014.
- [10] <https://www.apexauctions.co.uk/auction/itemDetails.htm?lotId=81333> август 2014.
- [11] <http://www.pilsentools.cz/en/naradi/hlavni-nar.htm> август 2014.
- [12] https://www.youtube.com/watch?v=hsD_x3cF2eQ
- [13] <http://www.gleason.com/products/24/17/gp-200> август 2014.
- [14] http://www.leeport.com.hk/lpm/eng/doimak_t3.htm август 2014.
- [15] <http://www.nisotec.rs/sr-lat/ulja-za-menja%C4%8De-i-diferencijale> август 2014.
- [16] <http://www.zupcanik.net/zupcanici-i-lancanici/> август 2014
- [17] <http://www.gears.com.pk/HypoidGears.html> avgust 2014

- [18] <http://nptel.iitk.ac.in/courses/Webcoursecontents/IIT%20Kharagpur/Manuf%20Proc%20II/pdf/LM-31.pdf> август 2014
- [19] [httpwww.supercuttingtools.com](http://www.supercuttingtools.com) август 2014
- [20] [httpwww.directindustry.com/proddiprotexdiamond-grinding-wheels-gear-19465-316002.html](http://www.directindustry.com/proddiprotexdiamond-grinding-wheels-gear-19465-316002.html) август 2014
- [21] [httpwww.indiamart.com/alka-hitech-engineeringmilling-cutters.html](http://www.indiamart.com/alka-hitech-engineeringmilling-cutters.html) август 2014
- [22] http://me.emu.edu.tr/me364/ME364_machining_gear.pdf август 2014
- [23] [httpwww.slonegear.com/products/spline-broaches](http://www.slonegear.com/products/spline-broaches) август 2014
- [24] <http://www.perrygear.com/shaping.html> август 2014
- [25] <http://nptel.iitk.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT%20Kharagpur/Manuf%20Proc%20II/pdf/LM-26.pdf> август 2014
- [26] [httpwww.directindustry.com/prodgleasoncnc-gear-shaping-machines-11966-961279.html](http://www.directindustry.com/prodgleasoncnc-gear-shaping-machines-11966-961279.html) август 2014
- [27] <http://www.perfectgears.in/machineries.html> август 2014
- [28] http://www.alibaba.com/product-detail/CNC-Gear-Hobbing-Machine_105016189/showimage.html август 2014
- [29] <http://www.exapro.com/used-pfauter-rs-1-v-cnc-gear-hobbing-machine-p30214090/> август 2014
- [30] [httpwww.njxingnong.com/enshebei.aspx](http://www.njxingnong.com/enshebei.aspx) август 2014
- [31] <http://conferences.sun.ac.za/index.php/doie/coma13/paper/viewFile/384/311> август 2014
- [32] <http://greatlakesgeartech.com/rollingmachines.html> август 2014
- [33] [httpwww.millatgears.com/index.php?option=com_content&view=article&id=85&Itemid=130](http://www.millatgears.com/index.php?option=com_content&view=article&id=85&Itemid=130) август 2014
- [34] [httpwww.steelrollingmillmachinery.com/cold-rolling-mills.html](http://www.steelrollingmillmachinery.com/cold-rolling-mills.html) август 2014
- [35] <http://www.pg.gda.pl/~wlitwin/pkm/205.pdf>
- [36] <http://www.masfak.ni.ac.rs/sitegenius/article.php?aid=270>
- [37] [httpwww.sciencephoto.com/media/362413/view](http://www.sciencephoto.com/media/362413/view)
- [38] [httpwww.unitedcuttingtool.com/gear_shaving_cutters.html](http://www.unitedcuttingtool.com/gear_shaving_cutters.html)
- [39] <https://www.youtube.com/watch?v=7A2pQnjeY28>

- [40] <https://www.youtube.com/watch?v=km0tlZouu6w>
- [41] https://www.youtube.com/watch?v=hsD_x3cF2eQ
- [42] https://www.youtube.com/watch?v=oBwp_IJx1ek
- [43] https://www.youtube.com/watch?v=i_AFpsfoaX8
- [44] <https://www.youtube.com/watch?v=XZgsV0AZJJ0>
- [45] <https://www.youtube.com/watch?v=6f-jHPqepxE>
- [46] <https://www.youtube.com/watch?v=pVzKwm6jQJw>
- [47] <https://www.youtube.com/watch?v=amPNrL3wNQA>
- [48] <https://www.youtube.com/watch?v=T0bR8Y7dhLA>
- [49] <https://www.youtube.com/watch?v=P89Y4Ht7SCs>
- [50] <https://www.youtube.com/watch?v=gj2szHk0OCU>
- [51] <https://www.youtube.com/watch?v=11UCwpKb5ME>