

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Машински елементи

Број индекса: 15/2006

Марко Р. Мајсторовић

Израда зупчаника

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Мирко Благојевић - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да на основу препоручене и шире литературе да основне информације о зупчастим преносницима снаге као и да детаљно опише начине њихове израде.

Препоручена литература:

[1] Николић В., Машински елементи теорија, прорачун, примери, Машински факултет Крагујевац, Крагујевац, 2004

[2] Обершмит Е., Озубљења и зупчаници, SNL, Загреб, 1982.

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

Крагујевац, 2013.

Ментор:

Др Мирко Благојевић, доцент

РЕЗИМЕ

У оквиру рада извршено је прикупљање, систематизација и анализа података везаних за поступке израде зубаца зупчаника. Детаљно су описани сви поступци израде зупчаника (глодањем, рендисањем, провлачењем, ваљањем у хладном и топлом стању). Такође су објашњени и поступци завршне обраде зубаца зупчаника (брушење и бријање), неопходни за постизање веће тачности израде профила зубаца.

Кључне речи: Израда зупчаника, глодање, рендисање, ваљање

SUMMARY

This work does gathering, systematization and analysation of gear teeth making process. All of the procedures of gear making are describer with detail (milling, rendering, broaching, rolling in the hot and cold). Also the processes of fine teeth finishing (grinding and shaving), as they are necessary for achievement of greater tooth profile precision.

Key words: gear wheel, cogwheel, pinion make, milling, rendering, rolling

Садржај:

1. УВОД	1
2. ЗУПЧАСТИ ПРЕНОСНИЦИ – ПОДЕЛА И КАРАКТЕРИСТИКЕ	2
3. ИЗРАДА ЗУПЧАНИКА	6
3.1 ИЗРАДА ЦИЛИНДРИЧНИХ ЗУПЧАНИКА ГЛОДАЊЕМ.....	7
3.1.1 Израда зупчаника појединачним резањем.....	7
3.1.2 Израда зупчаника релативним котрљањем.....	8
3.1.3 Отпори резања.....	10
3.2 ИЗРАДА ЗУПЧАНИКА РЕНДИСАЊЕМ.....	10
3.2.1 Израда зупчаника релативним котрљањем.....	11
3.2.2 Израда коничних зупчаника рендисањем.....	13
3.3 ИЗРАДА ЗУПЧАНИКА ВАЉАЊЕМ	14
3.3.1 Карактеристике поступка израде зупчаника ваљањем.....	14
3.3.2 Израда зубаца зупчаника ваљањем у загрејаном стању.....	15
3.3.3 Израда зубаца зупчаника (озубљења) ваљањем у хладном стању.....	19
3.4 ЗАВРШНА ОБРАДА ЗУПЧАНИКА	30
3.4.1 Обрада зупчаника брушењем.....	30
3.4.2 Обрада зупчаника љуштењем.....	31
4. ЗАКЉУЧАК.....	32
5. Литература.....	33

1.0 УВОД

Убрзани 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.

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.

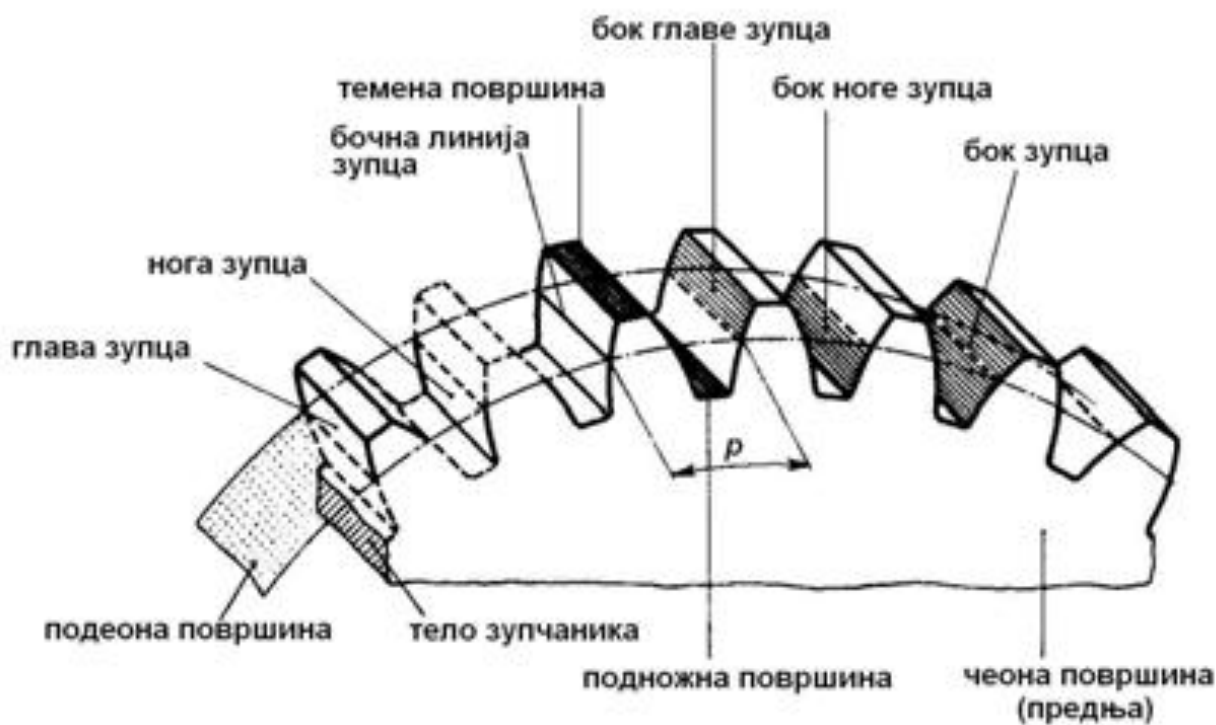
Зупчасти преносници представљају најраспрострањенију и најважнију групу механичких преносника чија је намена пренос кретања и снаге са једног вратила на друго помоћу зубаца у непосредном додиру. Пренос и трансформација снаге помоћу зупчастих преносника остварује се спрезањем зубаца. Тиме је обезбеђено 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.

Примењују се за врло широко подручје снага и преносних односа, од малих до веома великих вредности. Вибрације и бука зупчастих преносника могу бити појачани ако су израђени са већим одступањима геометријских мера или ако се ова одступања увећавају убрзаним трошењем (хабањем). Подизањем нивоа конструкцијских и технолошких својстава одржава се висок степен квалитета рада зупчастих преносника снаге и кретања.

У зависности од облика, преносног односа, и начина употребе, могу се користити за повећање и смањење обртног момента, брзине ротације, промену смера обртања и тако даље.

2.0 ЗУПЧАСТИ ПРЕНОСНИЦИ – ПОДЕЛА И КАРАКТЕРИСТИКЕ

Зупци 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.



Слика 2.1 Основне величине зупчастог венца цилиндричног зупчаника

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

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

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

Глава зупца је део зупца између подеоне и темене површине.

Нога зупца је део зупца између подеоне и подножне површине.

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

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

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

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

Бочна линија зупца је линија пресека бока зупца 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 зупцима [2, 4, 5...]. Положај бочне линије зупца у односу на осу обртања зупчаника одређен је углом нагиба бочне линије зупца β . Код цилиндричних зупчаника са правим зупцима бочне линије зупца су паралелне оси обртања зупчаника $\beta=0$. Услед тога су профили зубаца у чеоној равни, равни управној на осу обртања зупчаника и профили зубаца у нормалној равни, равни нормалној на бочну линију зупца, подударни: $\beta=0$, $p=p_n$.

Подела зупчастих преносника могућа је: према положају осе вратила погонског и гоњеног зупчаника, према правцу зубаца, према облику профила зубаца, 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 (сл. 2.2). Према облику зубаца разликују се зупчаници са правим, са косим и са стреластим зупцима.



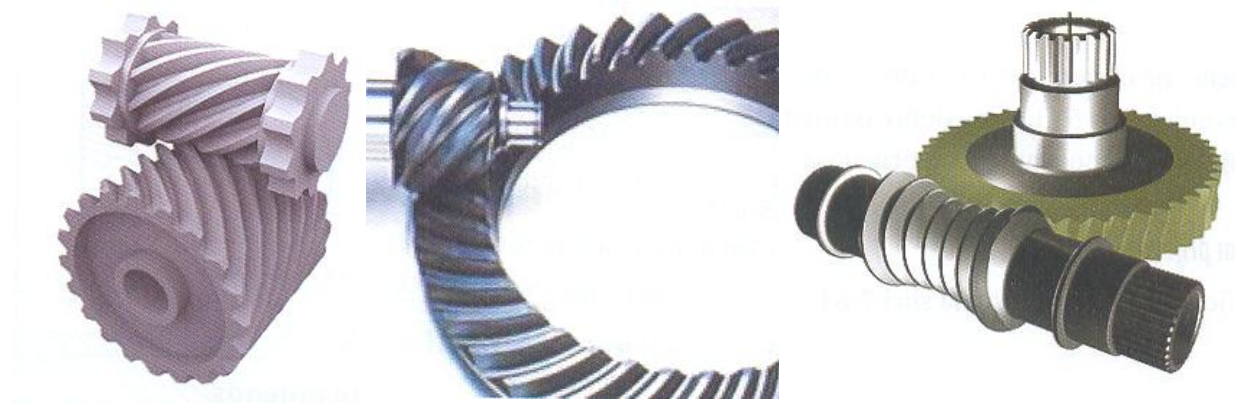
Слика 2.2 Цилиндрични зупчаници

- **Конусни зупчasti парови** имају кинематске површине у облику конуса. Осе обртања се секу, па је осно растојање $a=0$. (сл. 2.3). Конични зупчаници могу бити са правим, косим и криволинијским зупцима.



Слика 2.3 Конусни зупчasti парови

- **Хиперболоидни зупчасти парови** имају кинематске површине у облику једнограних хиперболида. Средина (грла) хиперболида налази се на месту најкраћег (нормалног) растојања оса обртања (сл.2.4). Могу бити: цилиндрични зупчаници са завојним зупцима (сл.2.4а), хипоидни зупчаници (сл.2.4b) и пужни пар (сл.2.4с)



Слика 2.4 Хиперболоидни зупчасти парови

Основне карактеристике зупчастих парова односе се на њихове предности и недостатке [2, 4, 5,...].

Предности зупчастих парова:

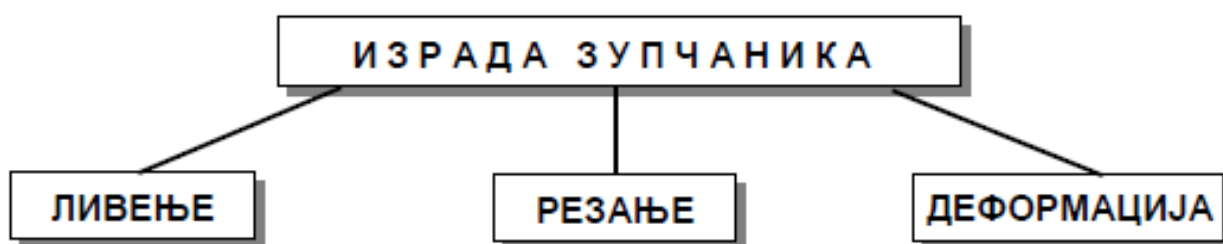
- тачан преносни однос,
- мале димензије,
- висок степен искоришћења (изузев хиперболоидних з.п.),
- велика издржљивост и трајност у раду,
- примена у широком дијапазону снага, бројева обртаја, преносних односа,...

Недостаци зупчастих парова:

- висока тачност израде,
- хабање и трошење у раду,
- велика крутост,
- присуство буке и вибрација при раду.

3.0 ИЗРАДА ЗУПЧАНИКА

Зупчаници нису стандардни елементи као лежаји и завртњеве, па се не могу набавити – купити на тржишту као готови производи. Свакој изради зупчаника претходи израда техничке и технолошке документације.



Слика 3.1 Поступци израде зубаца зупчаника

У зависности од захтевног квалитета израде зупчаника методе израде се деле на две групе [1, 3, ...] и то методе:

1. Предходне обраде-израде и
- 2.Завршне обраде зупчаника.

Методама предходне обраде (глодањем, рендисањем, провлачењем и сл.) формира се облик зубаца зупчаника резањем из пуног материјала.

Методама завршне обраде (брушењем, полирањем, љуштењем-бријањем и сл.) се одклањају дефектни слој и топлотне деформације настале предходном обрадом (у процесима израде и термичке обраде) и обезбеђује висока тачност и квалитет обрађених површина.

Методе израде и обраде зупчаника се могу разврстати и према врсти зупчаника који се израђују и основним поступцима обраде, као на пример:

- израда зупчаника глодањем,
- израда зупчаника рендисањем,
- израда зупчаника провлачењем,
- завршна обрада зупчаника.

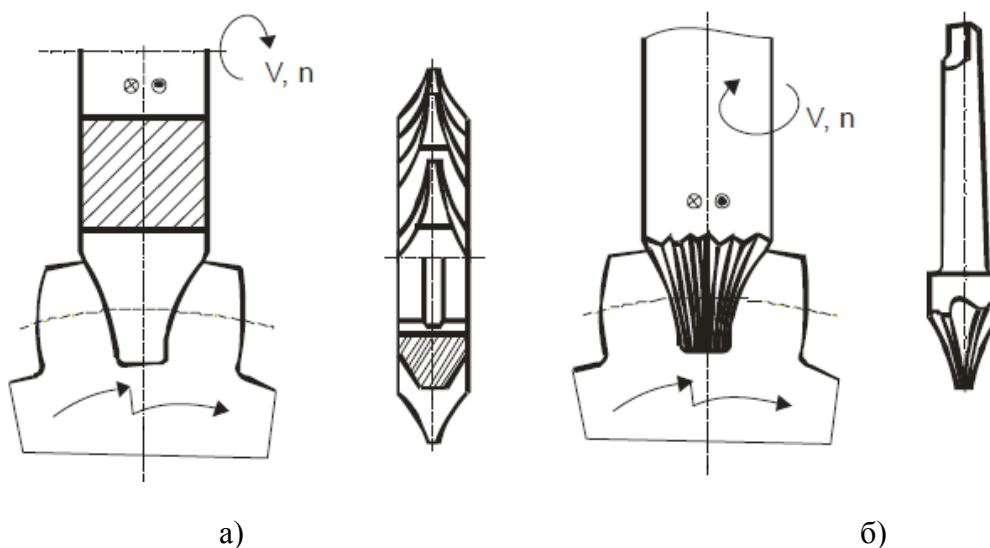
3.1 ИЗРАДА ЦИЛИНДРИЧНИХ ЗУПЧАНИКА ГЛОДАЊЕМ

За израду цилиндричних зупаника глодањем користе се методе израде:

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

3.1.1 Израда зупчаника појединачним резањем

Методе појединачне израде зупчаника користе се само у недостатку специјалних машина. Израда цилиндричних зупчаника појединачним резањем (слика 3.2) је могућа на универзалним, хоризинталним или вертикалним глодалицама уз примену подеоног апарата (простог или универзалног) [1, 3].



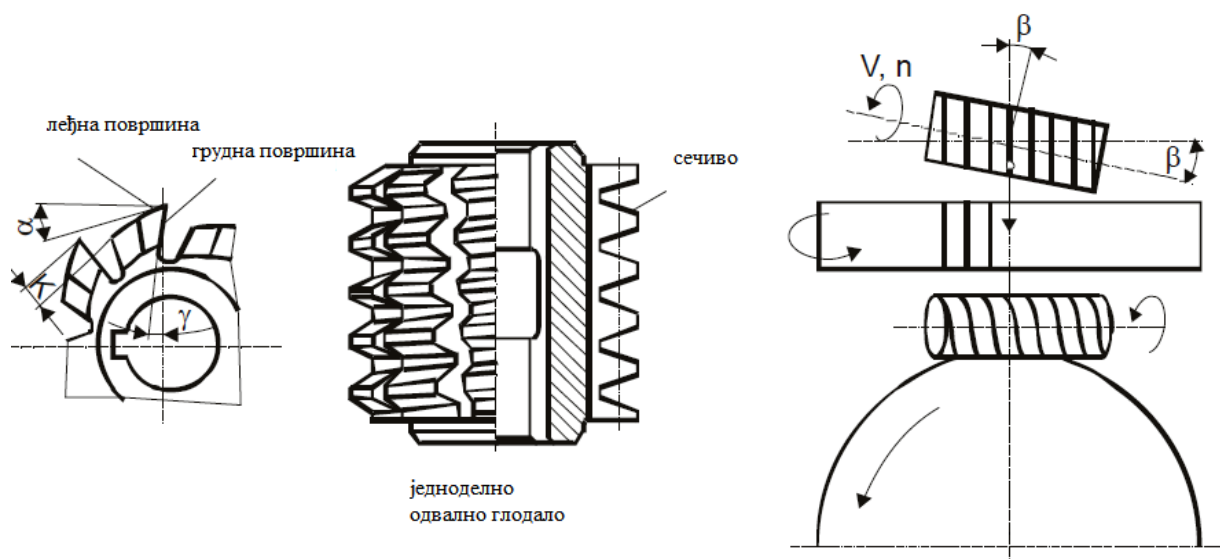
Слика 3.2 Појединачно резање зубаца зупчаника модулним глодалима: а) израда котурастим модулним глодалом, б) израда вретенастим модулним глодалом

Као алат користе се модулна вретенаста или катураста глодала. Профил алата одговара профилу међузубља зуба зупчаника. Након израде једног међузубља предмет обраде се, посредством подеоног апарата, заокреће за један корак. Како се, при истој вредности модула зупчаника, профил међузубља мења са бројем зуба зупчаника, теоријски би био потребан посебан алат за сваки модул и број зуба. Међутим, у пракси се за одређени дијапазон бројева зуба зупчаника, при истој вредности модула, користи једно глодало. То значи да за сваку вредност модула зупчаника постоји одређена гарнитура глодала, при чему се једно глодало из гарнитуре користи за одређени дијапазон броја зуба зупчаника.

Цилиндрични зупчаници са спиралним зупцима се могу, методом појединачног резања, израђивати на глодалима код којих се радни сто може закретати у хоризонталној равни за угао $90-\alpha$, где је угао α -угао нагиба тангенте на завојни жлеб.

3.1.2 Израда зупчаника релативним котрљањем

За серијску и масовну производњу зупчаника користе се специјалне машине, које раде на принципу релативног котрљања између алата и предмета обраде. Принцип релативног котрљања обезбеђује већу тачности израде, бољи квалитет и виши ниво продуктивности израде зупчаника [1, 3]. Остварује се на машинама типа Пфаутер коришћењем одвалног глодала (слика 3.3) као резног алата. Одвално глодало је облика пужа испресецаног завојним жлебовима нормалним на завојницу - спиралу пужа.



Слика 3.3 Одвална глодала

У процесу израде зупчаника одвално глодало изводи лагано главно обртно кретање (слика 3.3), уз истовремено праволинијско помоћно кретање паралелно оси зупчаника који се израђује. Предмет обраде изводи помоћно обртно кретање, које је у функцији главног кретања, како би се добио жељени број зубаца зупчаника. Одвална глодала се израђују од брзорезних челика или са уметнутим сегментима са зубима од брзорезног челика. Наношењем тврних TiN превлака постиже се вишеструко повећање постојаности алата.

Режим обраде при изради зупчаника одвалним глодањем је дефинисан *кораком* S , mm/o и *бројем обрта алата* n , o/min , *аксијалним померањем алата* S_r , mm/o или *бројем ходова* [1, 3]. За израду зупчаника глодањем користе се глодалице типа Пфаутер. Носач алата са алатом се вертикално помера дуж стуба (периодично или континуално) и закреће око хоризонталне осе у циљу закретања одвалног глодала. Алат изводи главно обртно и помоћно аксијално праволинијско кретање. Предмет обраде се поставља на стојер и утврђује носачем. Предмет обраде изводи помоћно обртно, допунско обртно (уколико је потребно) и помоћно праволинијско радијално кретање (периодично или континуално).

Пужни точкови се израђују радијалном или тангенсијалном методом. Код радијалне методе предмет обраде се радијално примиче алату, уз истовремено главно обртно кретање алата и помоћно обртно кретање предмета обраде. Тангенсијална 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 примикањем 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 тангенсијално примикање алата и истовремено обртно кретање и алата и предмета обраде.

Цилиндрични зупчаници са угластим - стреластим зубцима се израђују на специјалним машинама коришћењем професионалног вретенастог глодала чији профил одговара профили међузубља зубаца 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, закреће за један корак.

3.1.3 Отпори резања

Отпори резања при обради зупчаника модулним глодалима се могу одредити као и у обради глодањем. Обимна сила при изради зупчаника одвалним глодањем је одређена изразом [1, 3]:

$$F_o = C_p \cdot m^x \cdot S^y, \quad N \quad (3.1)$$

Где су: C_p , x и y – константа и експоненти силе, S mm/o - корак и m , mm - модул зубаца зупчаника.

Компоненте резултујућег отпора резања се могу приказати и проширеним изразом облика:

$$F = C \cdot m^x \cdot S^y \cdot z^n \quad (3.2)$$

Где је, поред познатих величина: z - број зубаца зупчаника који се израђује.

На основу обимне силе (F_o , N) и брзине резања (V , m/min) односно броја обртаја (n , o/min) потребна снага машине је:

$$P \approx \frac{C_p \cdot m^x \cdot S^y \cdot D \cdot n}{1,91 \cdot 10^7 \cdot \eta}, \quad kW \quad (3.3)$$

Где је η -механички степен искоришћења снаге машине.

3.2 ИЗРАДА ЗУПЧАНИКА РЕНДИСАЊЕМ

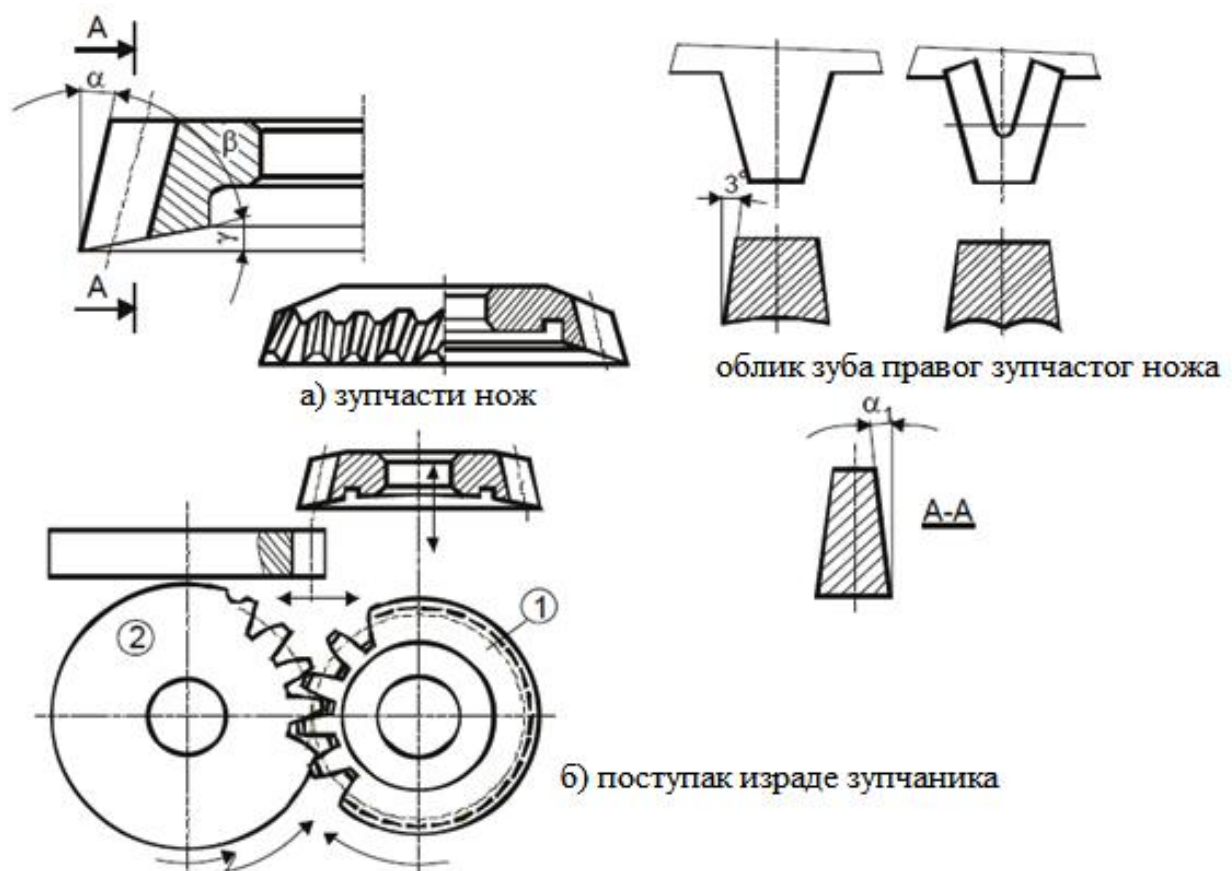
Израда цилиндричних и коничних зупчаника рендисањем представља поступак који одликује већа тачност израде у односу на глодање, али и мања продуктивност.

Израда цилиндричних зупчаника појединачним резањем је могућа на вертикалним рендисаљкама са обртним столом. Након израде једног међузубља, профилним ножем, чији профил одговара профили међузубља, предмет обраде се, посредством подеоног апарата, закреће за један корак. С обзиром да је за сваки модул и број зубаца зупчаника потребан други нож за рендисање то се овај поступак ретко примењује [1, 3].

3.2.1 Израда зупчаника релативним котрљањем

У серијској и масовној производњи се користе методе засноване на принципу релативног котрљања и то углавном: **Фелоуз** и **Маг** метода.

Фелоуз (Fellows) поступак израде цилиндричних зупчаника са правим зупцима је поступак релативног котрљања код кога се као алат користи кружни зупчasti нож (слика 3.4.а), који представља вишепрофилни алат у виду зупчаника.



Слика 3.4 Алат и шема поступка израде цилиндричних зупчаника (метода Fellows)

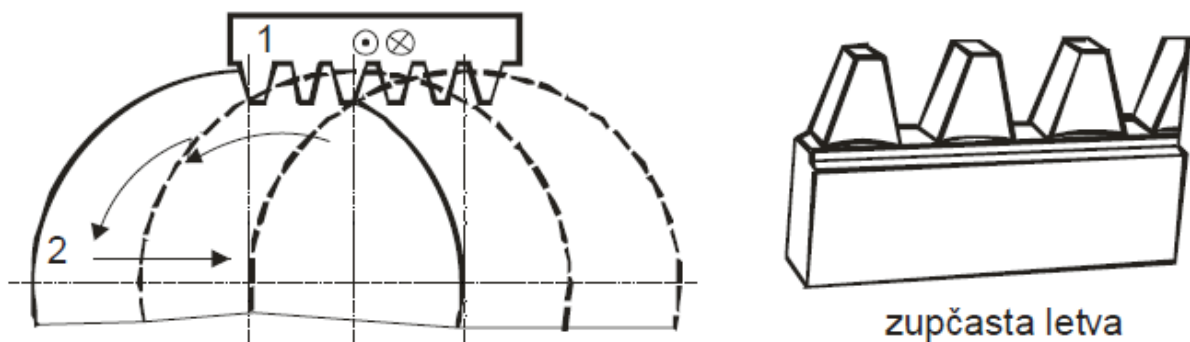
Алат (1) (слика 3.4.б) изводи главно праволинијско кретање у вертикалном правцу, уз истовремено помоћно обртно кретање. Предмет обраде (2) изводи континуално помоћно обртно кретање, уз периодично праволинијско радијално кретање са циљем примицања предмета обраде и остваривања одговарајуће дубине резања, пре почетка радног хода, односно одмицања предмета обраде пре почетка повратног хода (елиминисање могућих оштећења обрађене површине).

Код израде *цилиндричних зупчаника са завојним зубцима* примењују се зупчасти ножеви са завојним зубима. У овом случају алат, поред приказаних кретања (слика 3.4.б) изводи и допунско обртно кретање.

Израда цилиндричних зупчаника са стреластим зубцима је могућа само ако је предвиђен средишњи жлеб. У том случају најпре се израђује прва половина зупчаника, а затим и друга, при чему средишњи жлеб обезбеђује излаз алата.

Зупчаници са унутрашњим озубљењем се израђују на аналоган начин као и зупчаници са спољашњим озубљењем.

Маг (Maag) метода је метода израде *цилиндричних зупчаника са правим зубцима* релативним котрљањем применом правог зупчастог ножа облика зупчасте летве. Алат (1) изводи вертикално главно праволинијско кретање, слика 3.5. Предмет обраде (2) изводи помоћно обртно и праволинијско кретање. Помоћно обртно кретање је периодично, по завршеном повратном пре радног хода алата. Помоћно праволинијско кретање се изводи континуално од једног до другог краја алата, уз враћање предмета обраде у почетни положај, након достизања крајњег положаја.



Слика 3.5 *Израда цилиндричних зупчаника са правим зубцима - метода Маг*

Код израде цилиндричних зупчаника са завојним зубцима носач алата се заокреће за угао који одговара углу нагиба спирале зубаца зупчаника.

Израда цилиндричних зупчаника Маг методом је једноставнија и обезбеђује постизање веће тачности у односу на Фелоуз методу, због једноставнијег профила зубаца зупчасте летве. Међутим, конструкција машине је знатно сложенија због потребе за периодичним радом.

Режим обраде при изради зупчаника рендисањем по методи релативног котрљања (одвалним рендисањем) је дефинисан: *корак*ом S , mm/dh и *број*ем *дуплих* *хода*ва алата

nL , dh/min , док је системом преноса кретања од главног вретена до вретана са предметом обраде обезбеђено одговарајуће обртно кретање предмета обраде.

3.2.2 Израда коничних зупчаника рендисањем

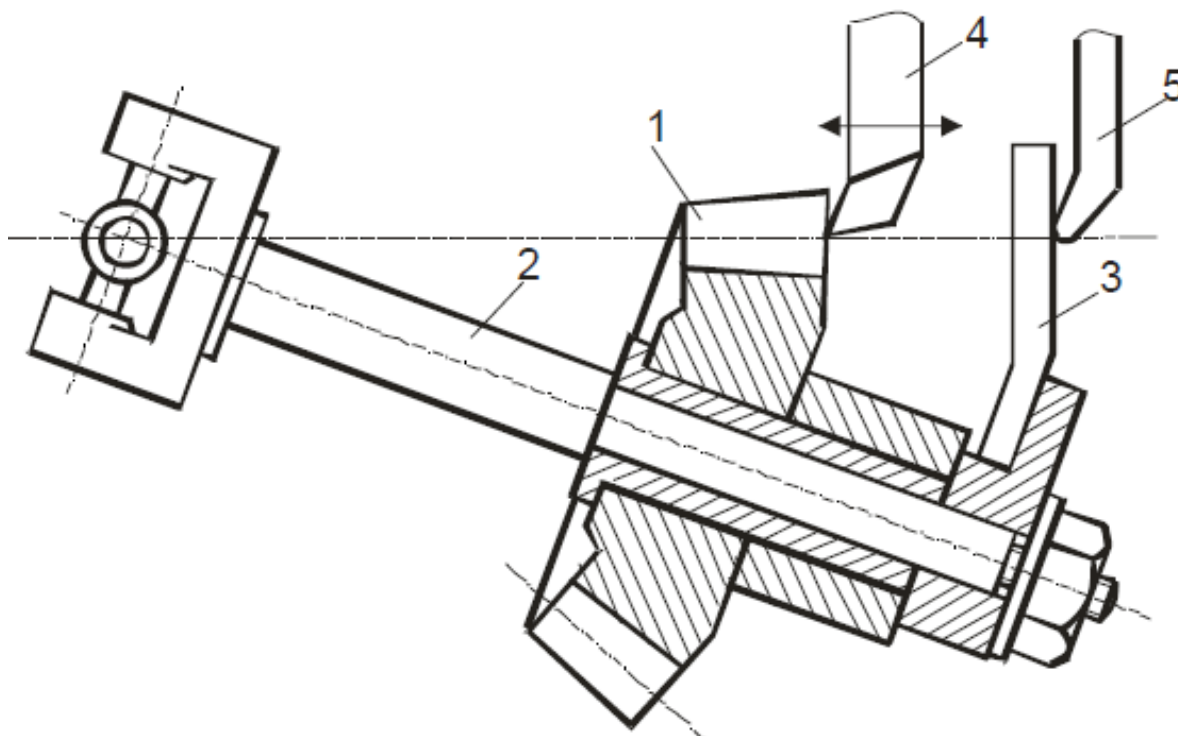
За израду зупчаника рендисањем користе се рендисаљке типа Fellows и Maag.

Методе израде коничних зупчаника рендисањем се најчешће разврставају на методе:

- копирања по шаблону и
- релативног котрљања

мада се могу разврстати и према типу машине за израду коничних зупчаника на: Оерликон, Билграм, Глизон методе итд.

Оерликон метода израде коничних зупчаника рендисањем (слика 3.6) је метода копирања. Радни предмет (1) и шаблон (3) су постављени на стојер (2), зглавкасто везан на врху конуса, помоћу карданског зглоба. Профил шаблона је увећан у односу на профил зупчаника који се израђује, сразмерно растојању од врха конуса. Нож за рендисање (4) изводи главно праволинијско кретање у правцу изводнице конуса, док шиљак копира (5) обезбеђује нагињање система приљубљивањем уз шаблон. На овај начин се остварују помоћна кретања која обезбеђују копирање профила шаблона на предмет обраде. Савремене машине обезбеђују истовремену обраду са два ножа од којих један израђује један, а други други бок профила зубаца. Рендисаљке за израду коничних зупчаника копирањем се користе за израду зупчаника модула већих од 20 mm.



Слика 3.6 Оерликон метода израде коничних зупчаника - метода копирања

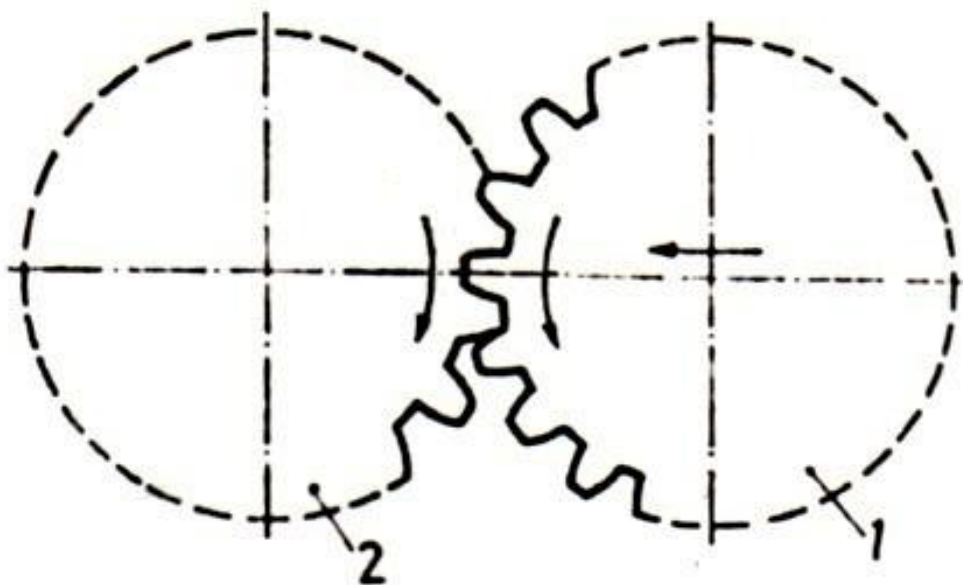
3.3 ИЗРАДА ЗУПЧАНИКА ВАЉАЊЕМ

3.3.1 Карактеристике поступка израде зупчаника ваљањем

Осим поступка израде зубаца зупчаника резањем (и других елемената са озубљењем), при серијској и великосеријској производњи примењују се и поступци израде озубљења ваљањем у загрејаном и хладном стању материјала обратка.

При томе поступци ваљања зубаца зупчаника имају већу производност у односу на поступке обраде резањем (глодање, рендисање), а одликују их друге предности, међу којима су најважније: уштеда у материјалу, смањење обима накнадне обраде, побољшање квалитета материјала (повољнији ток влакана и већа динамичка издржљивост зубаца зупчаника).

Израда зубаца зупчаника ваљањем састоји се у утискивању профила алата (који је често у облику зупчаника) у материјал обратка, при истовременом обртању обратка и алат (тзв. релативном котрљању) [1, 3].



Слика 3.7 Шема поступка израде зубаца зупчаника ваљањем (1- алат, 2- обрадак)

На слици 3.7 приказана је шема поступка израде зубаца зупчаника ваљањем са једним алатом у облику зупчаника (1- алат, 2- обрадак), при чему се алат и обрадак обрћу у супротним смеровима и алат се примиче радијално ка обратку до достизања пуне дубине профила зубаца.

При обликовању зубаца зупчаника ваљањем повећава се спољашњи пречник обратка на рачун истискивања материјала из међузубља, и при томе се влакнаста струкура материјала (добијена претходним ваљањем или ковањем) не разара, већ се влакна повијају.



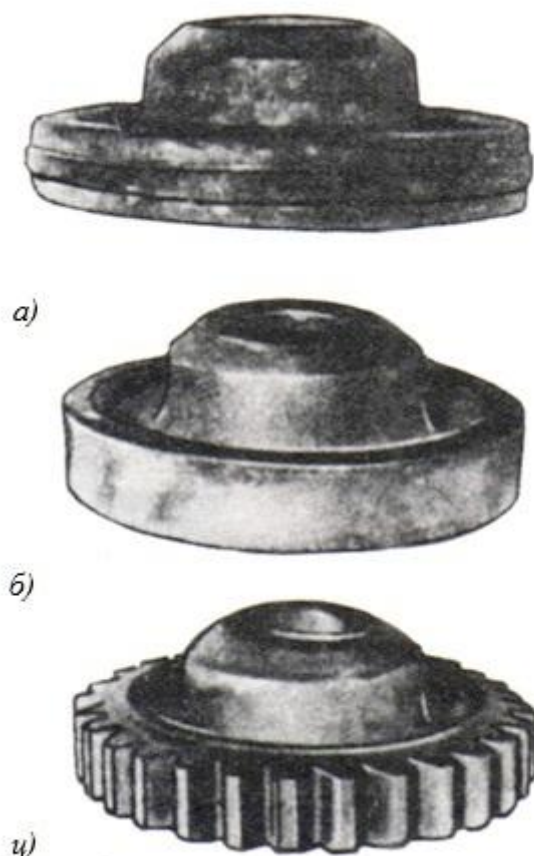
Слика 3.8 Облик и ток влакана материјала у области зубаца зупчаника при њиховој изради резањем (а) и ваљањем (б)

На слици 3.8 упоредо су приказани облици и ток влакана материјала при изради зубаца зупчаника резањем (нпр. глодањем) када се влакна пресецају (а) и при изради зубаца зупчаника ваљањем (б). Овако повољан ток влакана материјала у области зубаца обезбеђује им бољу динамичку издржљивост при експлоатацији.

3.3.2 Израда зубаца зупчаника ваљањем у загрејаном стању

Израда зубаца зупчаника ваљањем у загрејаном стању материјала примењује се код зупчаника већег модула. Загревање материјала (обратка) изводи се најчешће електроиндуктивно на самој машини за ваљање зубаца, 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 зубаца зупчаника ваљањем, калибрисање зубаца, обрада централног отвора зупчаника и жлеба за клин и (евентуално, према потреби) брушење зубаца, с тим да операцији брушења претходи термичка обрада.



Слика 3.9 Пример припремка за зупчаник после ковање у калупу (а), након калибрисања венца (б) и ваљањем зубаца (ц)

На слици 3.9 дат је пример отковка за зупчаник (а), изглед припремка после калибрисања венца (б) и зупчаник после ваљања зубаца (ц).

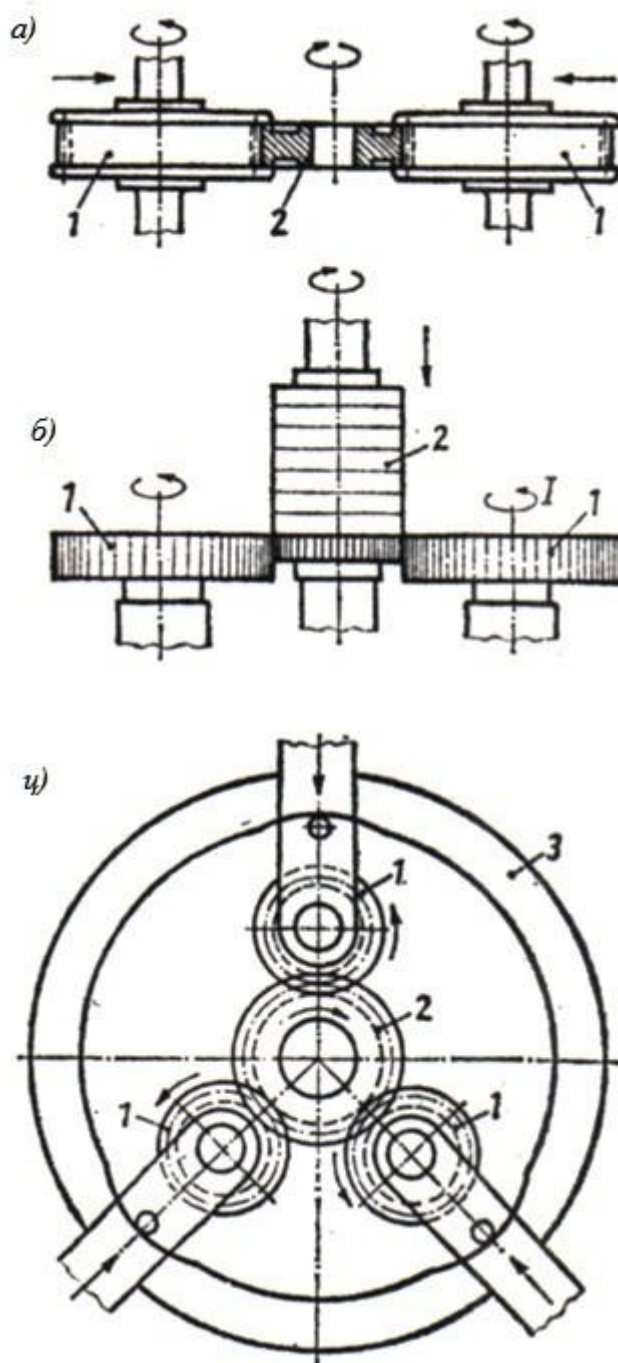
Спољашњи пречник припремка (венца) може се одредити по обрасцу:

$$D = \frac{D_1 + D_2}{2} + 0,3 + 0,4 \cdot m \quad (3.4)$$

где су : D_1 и D_2 - пречници зупчаника после ваљања зубаца, и то спољашњи пречник и пречник на месту међузубља и m - модул зубаца зупчаника.

Машине за ваљање зубаца зупчаника чешће се изводи са две или три алата, јер се тада уравнотежавају силе које оптерећује вратило са обратком (у односу на машине са једним алатом – слика 3.10).

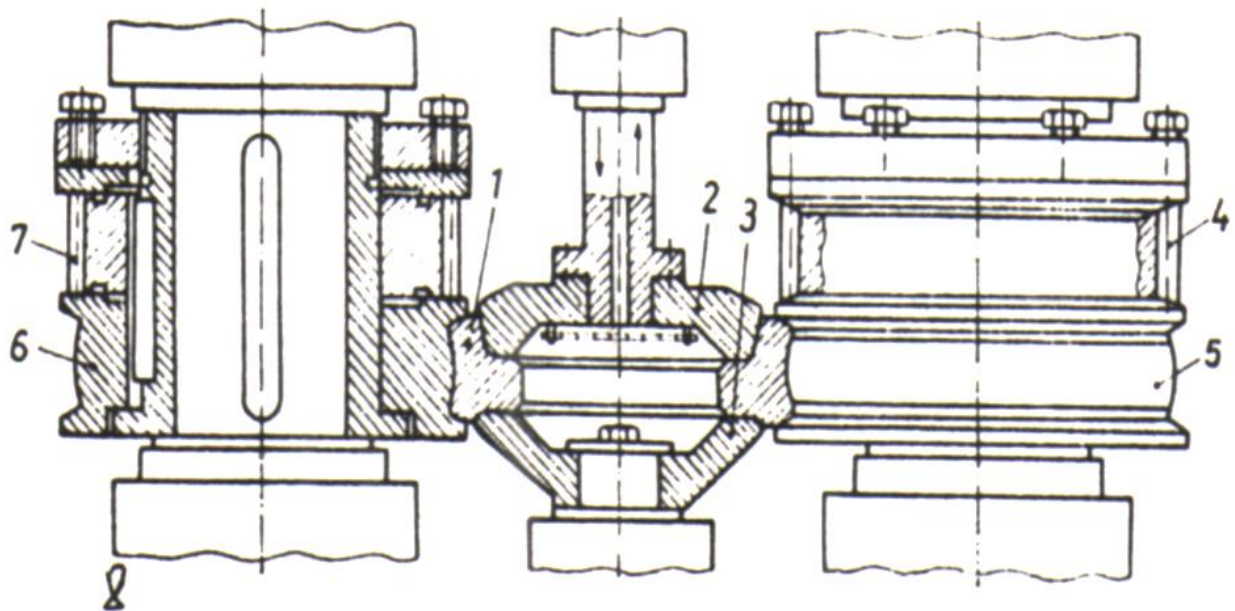
При томе је могућа појединачна израда зупчаника или израда зубаца на више истих зупчаника, који се постављају на заједничко вратило и аксијално померају између алата за ваљање зубаца (у једном пролазу обради се више зупчаника).



Слика 3.10 Упрошћене шема машина за ваљање зубаца зупчаника: са два алата (а,б) и са три алата (в); 1- алат, 2- припремак, 3- носач алата

На слици 3.10 приказане су упрошћене шеме машина за ваљање цилиндричних зупчаника за правим зупцима, и то: са два алата који се померају радијално ка обратку (а), са два алата и аксијалним кретањем више обрадака између њих (б) и са три алата који се примичу радијално ка обратку (ц).

Калибрисање венца обратка (зупчаника) обично се изводи непосредно пре ваљања зубаца, и то тако што се ваљци за калибрисање постављају на исто вратило са алатима за ваљање зубаца зупчаника (на одређеном растојању од њих). При томе се најпре изведе калибрисање венца, а затим се вратило са припремком помера аксијално и доводи између алата за ваљање зубаца.



Слика 3.11 Детаљ машине за калибрисање венца и ваљање зубаца зупчаника

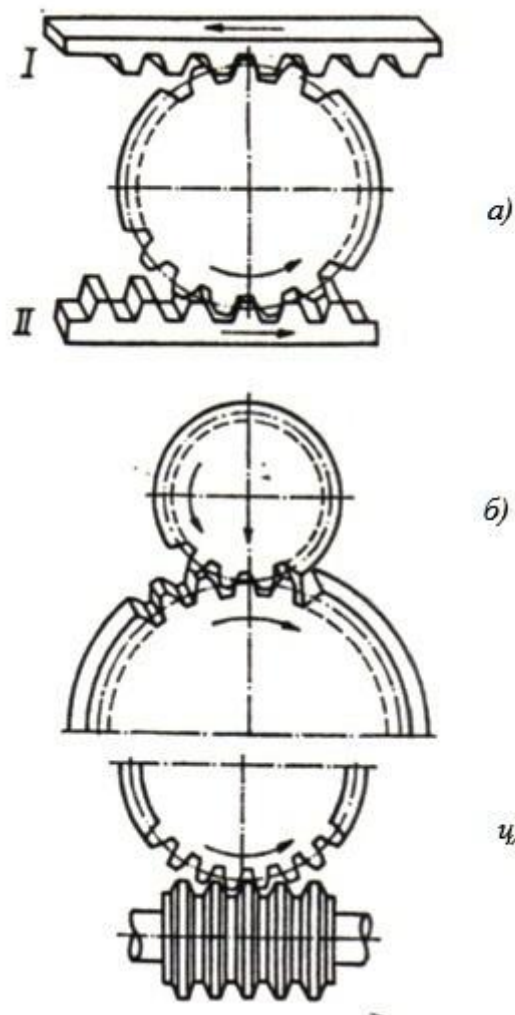
На слици 3.11 приказан је детаљ једне такве машине са ваљцима за калибрисање венца и алатима за ваљање зубаца зупчаника (1- обрадак, 2 и 3- прибор за стезање обратка, 5 и 6- ваљци за калибрисање венца, 4 и 7- алати за ваљање зубаца зупчаника).

Алати за ваљање зубаца зупчаника имају облик зупчаника са коригованим зупцима. Израђују се од легираних алатних челика, термички обрађују и завршно обрађују брушењем и глачањем. Модул зуба алата одговара модулу зубаца зупчаника који се израђује.

3.3.3 Израда зубаца зупчаника (озубљења) ваљањем у хладном стању

Хладним ваљањем обично се врши завршна обрада (калибрисање) зубаца зупчаника израђених топлим ваљањем као и израда зубаца мањег модула (до $m=3 \text{ mm}$) код зупчаника и елемената са озубљењем (крајеви вратила, озубљени сегменти и сл.). При томе се хладним ваљањем могу израђивати зупци (озубљења) различитог облика профила (еволвентни, троугласти и др.).

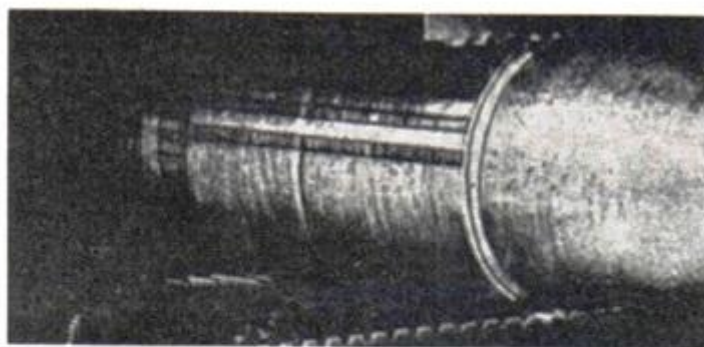
Алати за ваљање зубаца зупчаника у хладном стању могу бити изведени у три основна облика према чему се разликују и поступци ваљања на овај начин: у облику зупчасте летве, у облику зупчаника и у облику пужа.



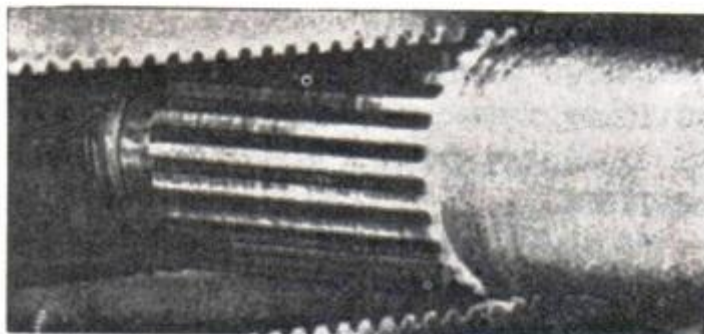
Слика 3.12 Шеме основних поступака ваљања зуба у хладном стању: алати у облику озубљених летви (а), алатом у облику зупчаника (б) и алатом у облику пужа (ц).

На слици 3.12. приказана су три основна начина израде зубаца хладним ваљањем материјала обратка, са коришћењем поменуто три облика алата: ваљање између две озубљене летве (а), ваљање алатом у облику зупчаника (б) и ваљање алатом у облику пужа (ц).

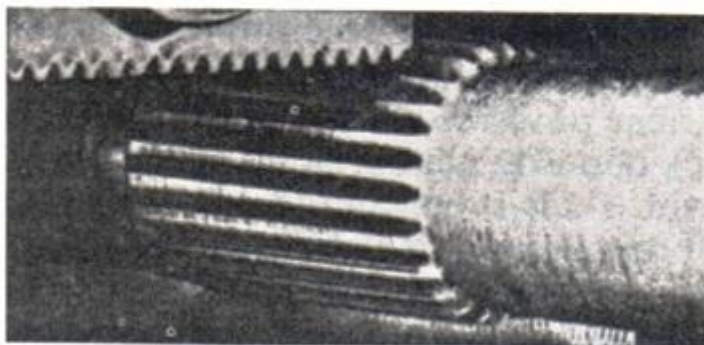
У првом случају обрадак се котрља између две озубљене летве (алата), који су на константном растојању. У другом случају се обрћу алат (или два алата у облику зупчаника) и обрадак уз истовремено примицање алата ка обратку, а такође у трећем случају одрћу се обрадак и алат у облику пужа.



а)



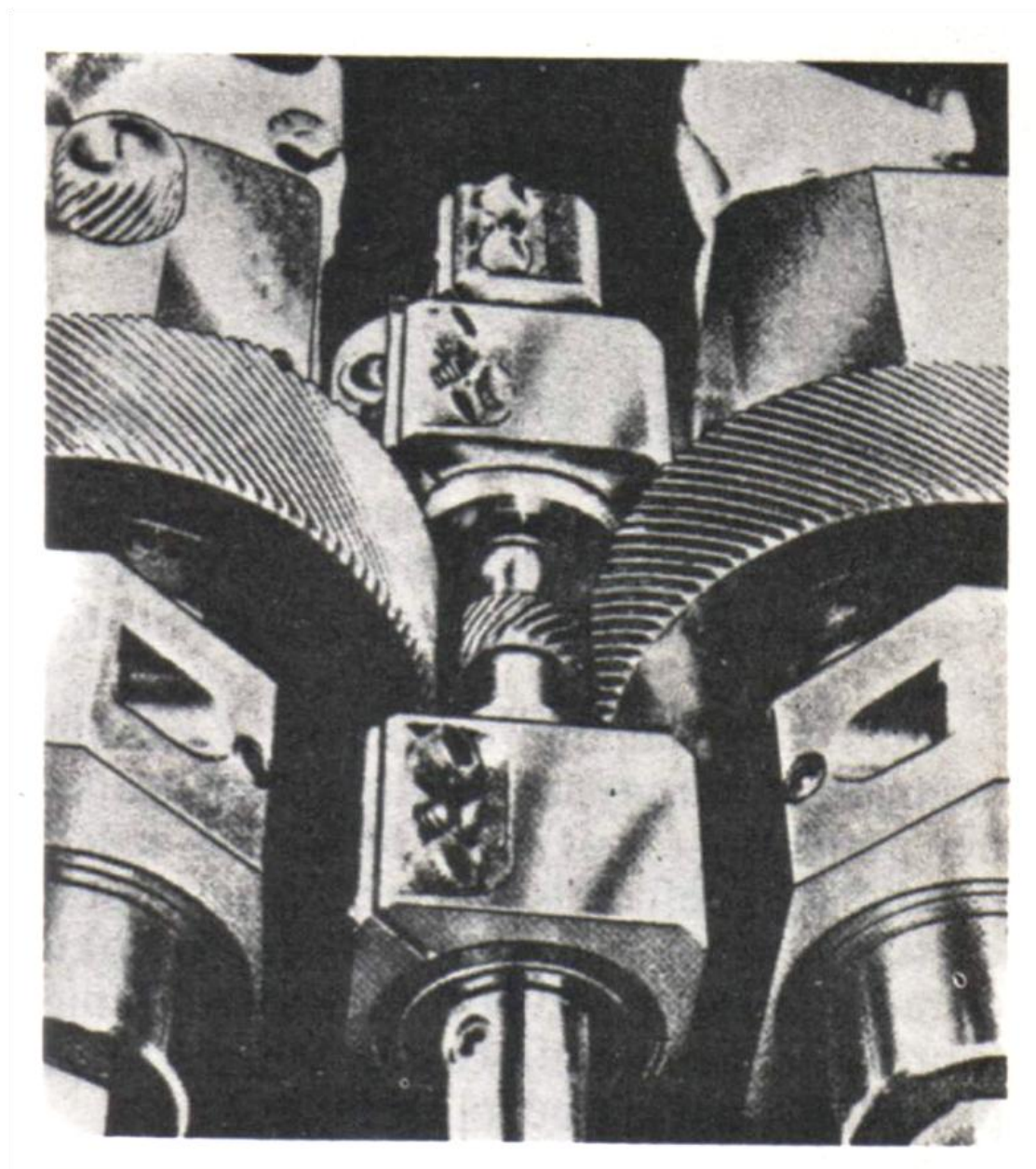
б)



ц)

Слика 3.13 Три фазе израде озубљења са алатима у облику озубљених летви

На слици 3.13 дате су три фазе обраде по првом поступку (израда озубљења две зупчасте летве), и то: почетна фаза (а), међуфаза (б) и завршна фаза израде озубљења (ц).



Слика 3.14 *Изглед зоне обраде машине за ваљање зупчаника у хладном стању са два цилиндрична алата са косим зупцима*

На слици 3.14 приказан је зона обраде машине за ваљање зупчаника са косим зупцима помоћу два цилиндрична алата (зупчаника) такође са косим зупцима.

При изради зупца зупчаника или озубљеног дела вратила 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.

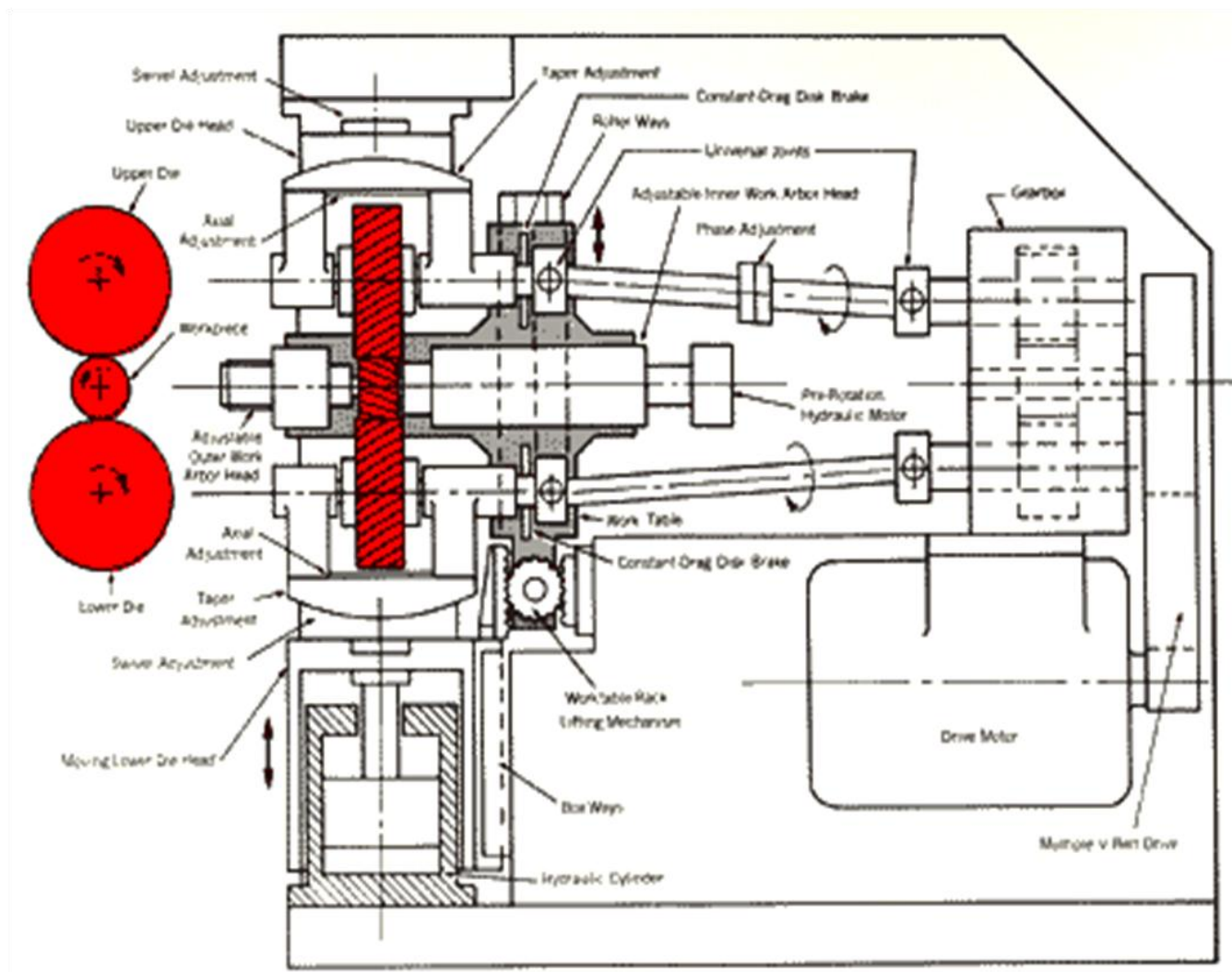
Ради тога се у последње време користе поступци израде озубљења пластичним деформисањем у хладном стању на принципу ударног дејства алата, чиме је омогућена и израда озубљења већег модула.

Најпознатији поступак ове врсте јесте тзв. Гроб - поступак израде озубљење у хладном стању (слика 3.15). Целокупан рад деформисања по овом поступку дели се на већи број удараца алата у облику ваљчића са профилем озубљења, који су смештени по обиму обртног вратила. При томе се истовремено израђују два међузубља озубљења (са обе стране, у једној симетралној равни), уз аксијално померање вратила које се обрађује и обртно кретање носача ваљчића који у тренутку наиласка на материјал имају ударно дејство услед њиховог ексцентричног положаја. После обраде два међузубља по целој дужини вратило са озубљењем се обрће за један корак и процес обраде понавља до завршетка свих зубаца (међузубља).

Савремене машине за ваљање зубаца зупчаника (озубљења) у хладном стању су приказане на наредним сликама:



Слика 3.16 *Алати за савремене машине за ваљање зубаца зупчаника у хладном стању, од произвођача Nachi Machining Technology Co [6]*



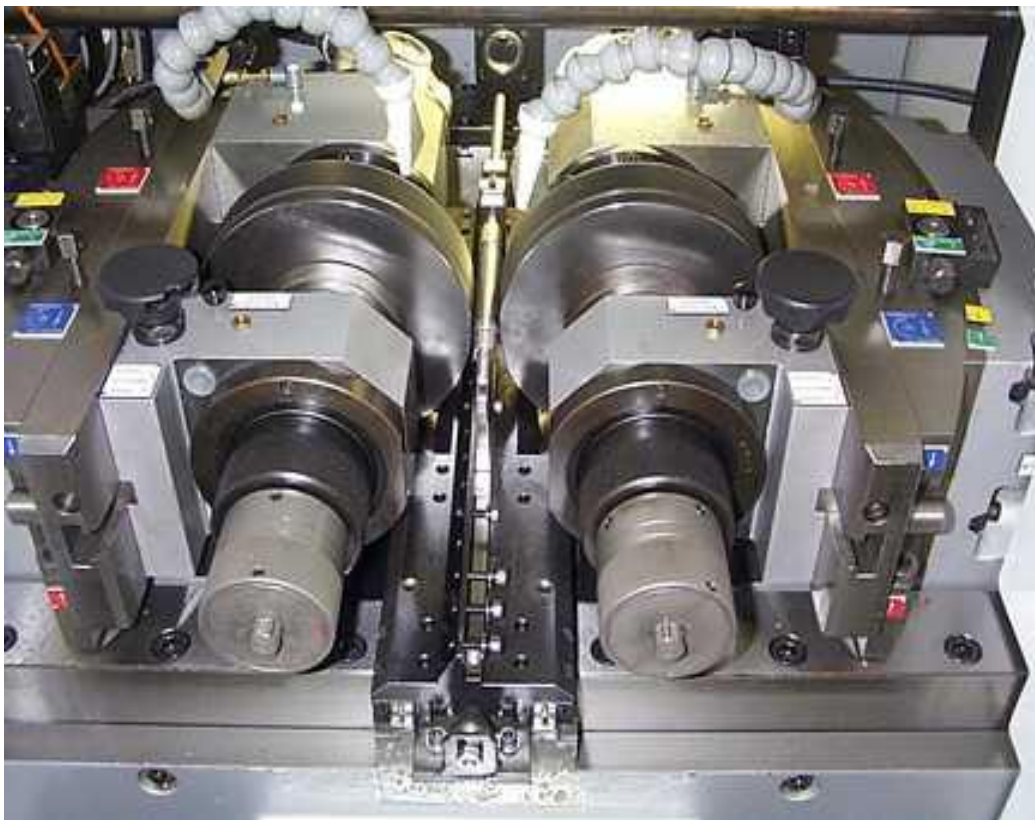
Слика 3.17 Шема савремене машина за ваљање зубаца зупчаника у хладном стању, од произвођача Nachi Machining Technology Co. Model RGB [6]



Слика 3.18 Савремена машина за ваљање зубаца зупчаника у хладном стању, од произвођача *Nachi Machining Technology Co. Model RGB* [7]



Слика 3.19 *Алати за савремене машине за ваљање зубаца зупчаника у хладном стању, од произвођача Escofier Technologie S.A.*



Слика 3.20 *Савремена машина за ваљање зуба зупчаника у хладном стању, од произвођача Escofier Technologie S.A. H15Z [8]*



Слика 3.21 *Савремена машина за ваљање зубаца зупчаника у хладном стању, од произвођача Escofier Technologie S.A. ALS CNC [9]*



Слика 3.22 *Савремена машина за ваљање зубаца зупчаника у хладном стању, од произвођача Grob C9 CNC [10]*



Слика 3.23 Примери обрадака после ваљања зубаца зупчаника у хладном стању

3.4 ЗАВРШНА ОБРАДА ЗУПЧАНИКА

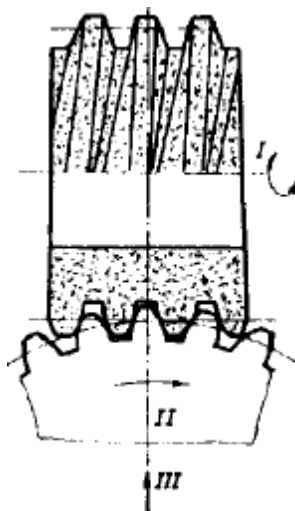
За виши квалитет тачности израде профила зубаца, после израде рендисањем односно глодањем врши се завршна обрада бријањем, брушењем или глачањем.

3.4.1 Обрада зупчаника брушењем

Један од често примењиваних поступака брушења еволвентних профила зубаца је поступак брушења релативним котрљањем алата у односу на зупчаник. Брушење се изводи помоћу брусних плоча којима се брусне бокове зубаца зупчаника. Профилно тоцило може бити двострано (Сл. 3.24 а) или једнострано (Сл. 3.24 б). У случају једностраног тоцила вретено брусне плоче у току брушења заузима правац основне праве тако да брусне плоче тангирају еволвентни профил. Котрљањем основне праве по замишљеној основној кружности, брусна плоча која ротира око осе бруси бокове односно обликује еволвенту.



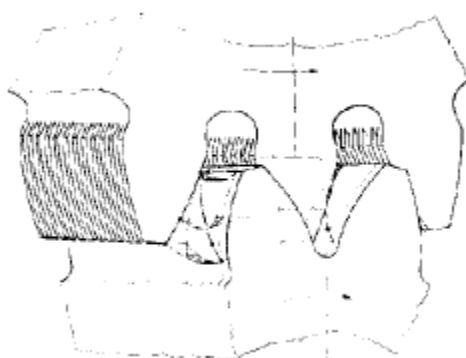
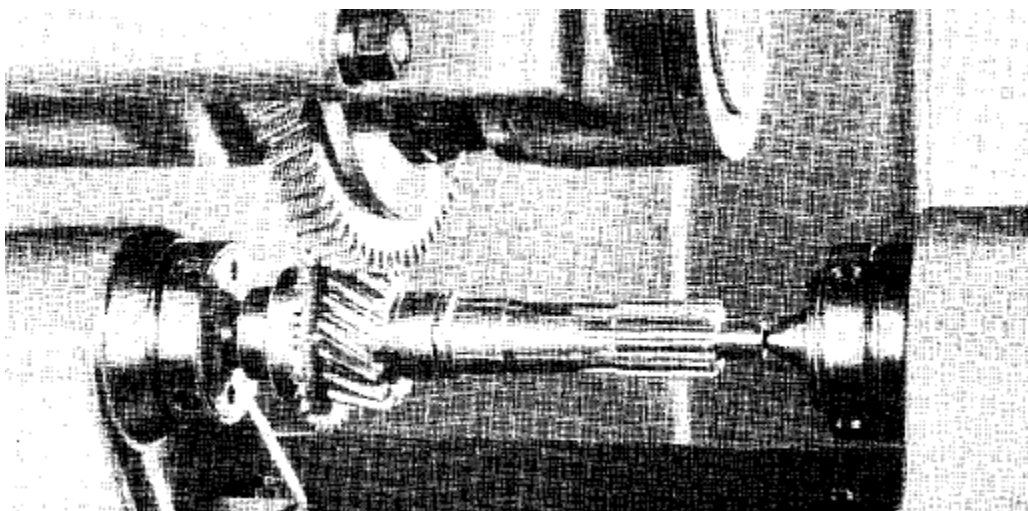
Слика 3.24 Брушење зупчаника профилним тоцилом а) двострано, б) једнострано профилирано тоцило



Слика 3.25 Пример брушења озубљења

3.4.1 Обрада зупчаника љуштењем

Код термички необрађених зупчаника примењује се завршна обрада бријањем (љуштењем). Алат за бријање може бити у облику зупчаника чији су зупци израђени са жлебовима по висини зупца, чиме се образују сечива у виду турпије (Сл. 3.26). У току обраде оса алата укршта се са осом зупчаника под углом 5 до 15° . Овим закошењем алата остварује се додатно клизање зубаца алата по боковима зубаца зупчаника у току њиховог спрезања чиме се скида врло фина струготина. Овакав начин обраде се примењује за зупчанике пречника до 5 m и ширине до 1,5 m.



Слика 3.26 Бријање (љуштење) озубљења

4. ЗАКЉУЧАК

Према статистичким подацима о до сада изведеним преносницима снаге највећу примену имају зупчасти преносници. Могу да се примене за све могуће положаје улазног и излазног вратила, као и за врло широк дијапазон снага, бројева обртаја и преносног односа. Како је услов правилног спрезања зубаца зупчаника врло висока тачност димензија и висок квалитет обраде површина то се поступцима израде зупчаника мора посветити велика пажња.

Код израде зупчаника треба разликовати израду тела зупчаника и израду озубљења. Тело зупчаника може бити израђено стругањем из пуне плоче, ковањем, заваривањем или ливењем. На овај начин обликовано тело зупчаника се затим озубљује.

Зависно од величине, врсте примењеног материјала, расположивог алата као и подручја примене озубљења зупчаника могу бити израђени на различите начине. Сви поступци израде зупчаника се могу разврстати у следеће групе: израда зупчаника глодањем, израда зупчаника рендисањем, израда зупчаника провлачењем и завршна обрада зупчаника.

Израда зупчаника рендисањем представља поступак који одликује већа тачност израде у односу на глодање, али и мања продуктивност. Предност примене свих поступака израде на принципу релативног котрљања је што се једним истим алатом за један модул могу израђивати зупчаници са произвољним бројем зубаца. Поступци ваљања зубаца зупчаника имају већу производност у односу на поступке обраде резањем (глодање, рендисање), а одликују их и друге предности, међу којима су најважније: уштеда у материјалу, смањење обима накнадне обраде, побољшање квалитета материјала (повољнији ток влакана и већа динамичка издржљивост зубаца зупчаника).

За виши квалитет тачности израде профила зубаца, после израде рендисањем односно глодањем врши се завршна обрада бријањем, 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.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лазић М., *Технологија обраде метала резањем*, Машински факултет Крагујевац, Крагујевац, 2002.
- [2] Милтеновић В., *Машински елементи облици, прорачун, примена*-[3. издање], Универзитет у Нишу – Машински факултет, Ниш, 2001.
- [3] Недић Б., Лазић М., *Производне технологије обрада метала резањем*-скрипта, Крагујевац, 2007.
- [4] Николић В., *Машински елементи теорија, прорачун, примери*, Машински факултет Крагујевац, Крагујевац, 2004.
- [5] Обершмит Е., *Озубљења и зупчаници*, SNL, Загреб, 1982.
- [6] http://www.escofier.com/UK/DEFAULT_UK.htm
- [7] http://www.escofier.com/UK/total_machines.html
- [8] <http://greatlakesgeartech.com/index.html>
- [9] <http://greatlakesgeartech.com/coldrolling.html>
- [10] http://www.ernst-grob.com/index_EN.html