



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Машине алатке

Број индекса: 33/2011

Милан Б. Милошевић

Вратила

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др. Богдан Недић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да изврши систематизацију и поделу вратила према намени и облику, да наведе врсте материјала који се користе при изради вратила и који све конструктивни облици вратила постоје. Такође, потребно је димензионисати вратило и извршити прорачун крутости вратила, степена сигурности, оптерећења сила на вратилу, напрезања и напоне, као и прорачун пречника вратила. Поред овога, потребно је навести типове улежиштења главних вратила машина алатки, стандардне препоруке конструктивних облика главних вратила и приказати примере вратила који се користе код CNC машина.

У посебном делу рада кандидат треба да моделира пример главног вратила.

Препоручена литература:

[1] Светислав Захар: *Машине алатке 2*, Машински факултет, југословенско друштво за трибологију, Крагујевац, 1997.

[2] Богдан Недић: *Пројектовање преносника машина алатки (скрипта)*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2011.

[3] Светислав Захар: *Машине алатке 1*, Машински факултет, Крагујевац, 1993.

Крагујевац, датум

ментор:

Др. Богдан Недић, ред. професор

Резиме: У раду је извршена систематизација и подела вратила машина алатки према намени и облику, избор материјала од којих се израђују вратила, преглед конструктивних облика вратила. Описан је поступак димензионисања вратила, дати су конструктивни облици главних вратила као и вратила код CNC машина. На крају рада извршено је моделирање главног вратила код машина за стругање.

Кључне речи: Вратила, машине алатке, стругање.

Abstract: This work includes systematization and classification shafts according to purpose and form, selection of materials used for shafts production, a review of structural forms of shafts. Dimensioning of shafts is described, structural forms of main shafts are given same as shafts from CNC machines. In the end, the modelling of main shaft at lathing machines is performed.

Key words: Shaft, machine tools, scraping.

Садржај:

1. Увод.....	1
2. Делови и подела вратила	3
2.1. Подела вратила према намени	3
2.1.1. Вратила преносника	4
2.1.2. Погонска вратила	4
2.1.3 Специјална вратила.....	4
2.2. Подела вратила према облику	4
2.2.1. Права вратила.....	5
2.2.2. Коленасто вратило.....	6
2.2.3. Карданско вратило.....	7
2.2.4. Брегасто вратило	8
2.2.5. Гипко вратило.....	8
3. Материјал вратила	10
4. Конструктивни облици вратила	13
5. Димензионисање вратила	16
5.1. Прорачун крутости вратила	18
5.1.1. Деформације вратила	18
5.1.2. Критичне и дозвољене деформације	20
5.2. Степен сигурности вратила	20
5.3. Оптерећење вратила	23
5.4. Силе на вратилу	24
5.5. Напрезања и напони на вратилима	27
5.5.1. Радни напони	31
5.5.2. Критични напони	32
5.5.3. Концентрација напона у вратилу	32

5.6. Прорачун пречника вратила	34
5.7. Улежиштења главних вратила	35
5.7.1. Улежиштења главних вратила помоћу котрљајних лежишта	36
5.7.1.1. Конструкција ослонаца главних вратила	37
5.7.2. Улежиштења главних вратила помоћу клизних лежишта	39
5.7.2.1. Улежиштења помоћу хидродинамичких клизних лежишта	39
5.7.2.2. Улежиштења помоћу хидростатичких клизних лежишта	41
6. Конструктивни облици главних вратила	42
6.1. Главе вратила код стругова	42
6.2. Главе вратила код бушилица	43
6.3. Главе вратила код глодалица	44
6.4. Главе вратила код брусилица	45
6.5. Специфичне главе вратила	45
6.5.1. Механизми за стезање помоћу расечене чауре	45
6.5.2. Механизми за аутоматско стезање	46
6.6. Стандардне препоруке конструктивних облика главе вратила	46
6.6.1. Главе вратила са Морзе и Метричким конусом	46
6.6.2. Главе вратила са конусом 7/24 – ISO конус	49
6.6.3. Главе вратила са спољашњим центрирајућим конусом и прирубницом	50
7. Вратила код CNC машина	53
7.1. Чести узроци отказа вратила	53
7.2. Продужење века трајања вретена	53
7.3. <i>Siemens</i> вратила	54
7.4. <i>SPS</i> вратила	55
7.5. Безбедност система вратила	55
8. Високобрзинска вратила	58

8.1. <i>IBAG</i> вратила.....	59
9. Пример моделираног главног вратила	60
10. Закључак	62
11. Литература.....	64

1. Увод

Вратила су носачи обртних машинских делова као што су: зупчаници, каишници, ланчаници, фрикциони точкови, спојнице и др. Вратила се најчешће обрћу, а ретко осцилују. Вратила омогућавају обртање делова који се налазе на њима, спајање у функционалну целину и преношење оптерећења. Вратила су елементи кружног попречног пресека чији геометријски облик се усваја и конструише у зависности од намене и оптерећења које прима и преноси. Њима се обезбеђује преношење просторног система сила са носећих обртних делова до непокретних ослонаца, као и преношење обртног момента са једног обртног дела на други. За разлику од осовина, вратила, поред уздужних и попречних сила, преносе и снагу, односно обртни момент, па су изложена сложенем напрезању. Услед деловања сила вратила могу бити изложена савијању у равнима које пролазе кроз осу вратила. Зависно од намене, вратила могу бити изложена увијању, савијању, затезању или притиску услед дејства аксијалних сила.

Да би се у току целокупног експлоатационог века машине обезбедила неопходна тачност машине, вратило мора да задовољи одређене захтеве као што су [1]:

1. Тачност обртања,
2. Крутост вретеништа,
3. Отпорност на вибрације,
4. Дуг век трајања,
5. Ограничено генерисање топлоте и
6. Брзо и поуздано причвршћивање алата, прибора или предмета.

У наведене захтеве вретеништа морају да поседују [1]:

- крутост, довољну да без великих деформација система приме силе резања и обртни момент, тј. да настале деформације буду у границама дозвољених грешака
- тачност и стабилност, положаја осе при његовом обртном и транслаторном кретању
- отпорност на хабање рукавца, насадних и базних површина по којима се остварује веза и центрирање, како самог вратила у кућишту преко лежишта, тако и носача (стезача) алата или предмета.

У другом поглављу овог рада извршена је систематизација и описана подела вратила према намени и облику. У трећем поглављу је приказан избор материјала који се користе приликом израде вратила машина алатки. Четврто поглавље се односи на конструктивне облике вратила, док је у петом поглављу дат детаљан опис поступка димензионисања вратила. У шестом поглављу су приказани конструктивни облици главних вратила код различитих машина алатки као и стандардне препоруке конструктивних облика главе вратила. Вратила код CNC

машина су описана у седмом делу, а високобрзинска вратила у осмом делу рада. На крају рада, у деветом поглављу је приказан пример моделираног главног вратила. На крају рада дат је закључак и преглед коришћења литературе.

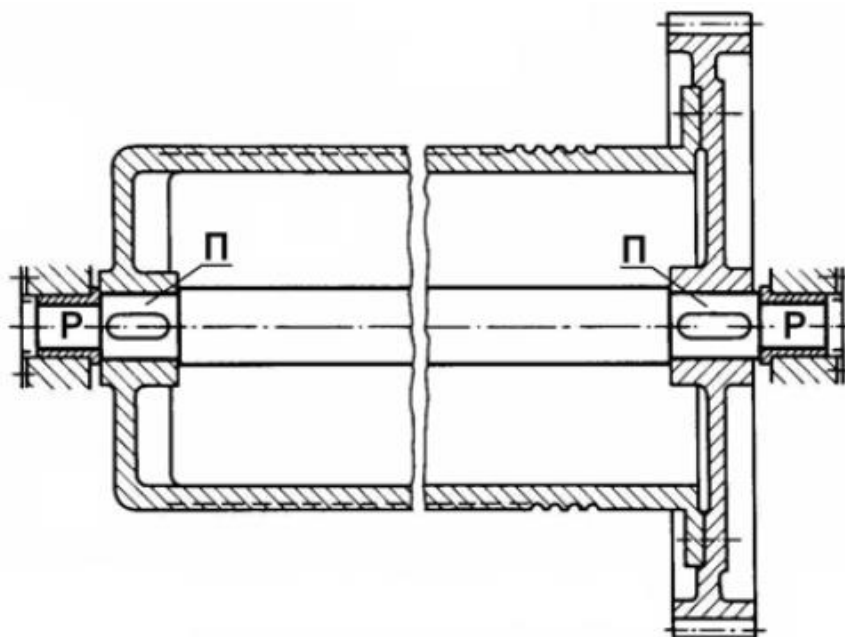
2. Делови и подела вратила

Делови вратила су [6]:

- 1) рукавци и
- 2) подглавци

Вратила се ослањају у лежајевима - ослонцима вратила. Део вратила којим се оно ослања у лежају зове се рукавац. Геометријски облик и мере рукавца обезбеђују да се оптерећење пренесе на ослонце (лежаје) који могу да приме односна оптерећења. Рукавци се у лежајима ослањају и обрћу. Део вратила на коме се ослања главчина носећег елемента назива се подглавак.

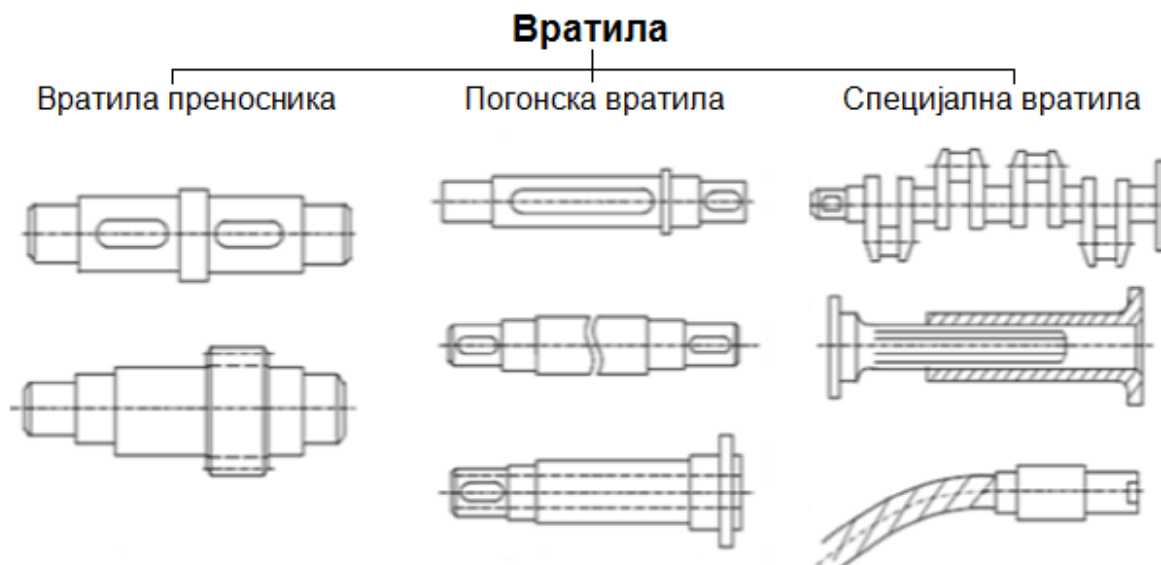
Спој главчине и подглавка остварује се тако да се обезбеди преношење кретања, обртног момента, попречних и уздужних сила. Због тога је подглавак снабдевен жлебовима, наслонима, навојима и другим карактеристичним облицима. Облик и димензије рукавца су такви да омогућују преношење оптерећења на ослонце као и услове за адекватну уградњу лежаја и нормалне радне услове за рад лежаја.



Слика 2.1. Рукавци (Р) и подглавци (П) [6]

2.1. Подела вратила према намени

Вратила се начелно могу поделити у 3 групе (слика 2.2.) [6]:



Слика 2.2. Подела вратила према намени [6]

2.1.1. Вратила преносника

Вратила преносника снаге су делови преносника снаге на којима се налазе носећи елементи (зупчаници, каишници, ланчаници и др.) који се обрћу заједно са вратилом на коме се налазе. Вратила преносника снаге изложена су дејству сила и момената које преносе са носећих обртних делова. Ова вратила се израђују као засебни конструктивни елементи, али и целокупно са носећим обртним делом, нпр. зупчаником. Ова вратила преносе просторне силе и спрегове (моменте увијања и савијања) па се прорачунавају као елементи изложени сложенем напрезању.

2.1.2. Погонска вратила

Погонско вратило је механичка компонента за преношење обртаја и ротације која се обично користи за повезивање осталих компоненти које се не могу директно спојити због превелике раздаљине или потребе да се остави простор за њихово покретање. Погонска вратила су носачи обртаја, подложни су торзији и трењу еквивалентно убаченом обртају и носивости.

2.1.3 Специјална вратила

Специјална вратила се примењују за извршавање посебних наменских функција у машинским подсистемима или системима. У специјална вратила се убрајају коленаста вратила мотора са унутрашњим сагоревањем, затим савитљива (гипка) вратила - чији се положај осе може мењати.

2.2. Подела вратила према облику

Према облику вратила се могу поделити на: [11]

- Права
- Коленаста
- Карданска
- Брегаста
- Гипка

2.2.1. Права вратила

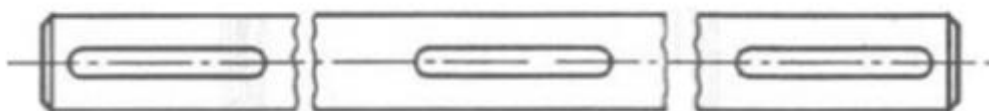
Права вратила (слика 2.3.) су вратила код којих је осна линија права линија. Права вратила се примењују код електромотора, редуктора, а попречни пресеци су кружни. Поред кружног попречног пресека вратила могу бити: ожлебљена, троугаоног попречног пресека или другог профилисаног облика. Ожлебљена вратила се примењују у градњи машина алатки, локомотива, трактора, аутомобилских и авионских мотора и уређаја. Користе се за већа оптерећења и аксијално померање дуж вратила. Применом вратила троугластог профила ублажава се концентрација напона присутна код вратила. Таква вратила се примењују, такође, код машина алатки. Вратила могу бити пуна или са центрчним уздужним отвором – шупље вратило.



Слика 2.3. Право вратило. [11]

Глатко вратило

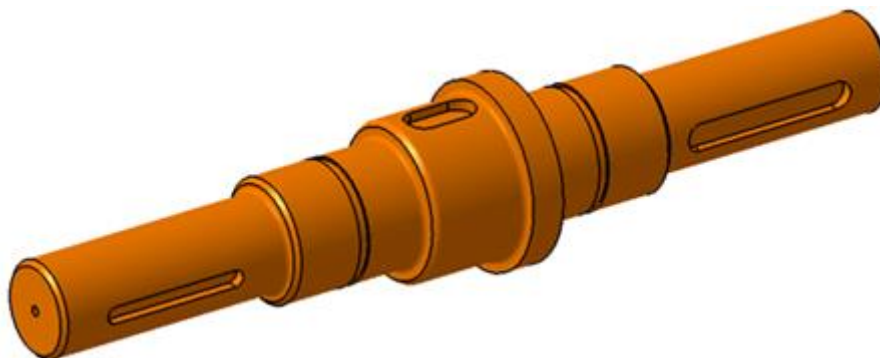
Вратила код којих је попречни пресек константан по целој дужини називају се глатко вратила (слика 2.4.). Попречни пресек је по целој дужини константан. Примењују се при трансмисијама и разноврсним машинама.



Слика 2.4. Глатко вратило [11]

Степенасто вратило

Основни облик правих вратила је: цилиндричан облик са променљивим пресеком по дужини – степенasti облик (слика 2.5.). Примењују се код редуктора, тешких машина а понекад и као главно трансмисијско вратило.



Слика 2.5. Степенасто вратило [11]

2.2.2. Коленасто вратило

Коленасто вратило је једно од најодговорнијих, најоптерећенијих и најскупљих делова мотора. Прима силе појединачних клипњача (из свих цилиндара мотора), преноси механичку енергију и предаје (преко замајца) потрошачу у виду обртног момента. Због периодичности побудних сила могу бити изазване осцилације коленастог вратила: торзионе – нарочито опасне, флексионе – мање опасне и уздужне – у неким случајевима могу бити опасне. Ни у ком случају се не сме дозволити рад у непознатом подручју торзионих осцилација јер лако може доћи до енормног пораста амплитуда осциловања и лома вратила.

Основни захтеви:

- Велика чврстоћа, крутост и отпорност на хабање
- Висока геометријска тачност обраде и финоћа обраде рукаваца
- Статичка и динамичка уравнотеженост – растерђење ослоних лежишта од центрифугалних сила.

Коленасто вратило (осна линија је изломљена) употребљава се за претварање праволинијског кретања у кружно и обрнуто. Примењују се код мотора са унутрашњим сагоревањем (као главно вратило), клипних компресора, ексцентар преса и др. Могу бити проста, једно колено (слика 2.6.) и сложена, више колена (слика 2.7.)



Слика 2.6. Просто коленасто вратило [11]



Слика 2.7. Сложено коленасто вратило [11]

2.2.3. Карданско вратило

Карданско вратило (слика 2.8.) је систем од два или више вратила повезаних карданском спојницом. То је "изломљено" вратило, тј. систем који омогућава нагињање, па и транслацију осе вратила којим се преноси снага, што га чини веома погодним за пренос снаге са нестационарних мотора, пре свега код моторних возила.

Главна особина овог вратила је, да су код кардановог вратила са две спојнице, код кога су осе улазног и излазног вратила паралелне, угаоне брзине улазног и излазног вратила увек једнаке, а угаона убрзања настају само на централном вратилу. Код карданових вратила са две спојнице, средишње вратило обично има клизни механизам (променљиве је дужине), што омогућава подизање и спуштање једне карданове спојнице у односу на другу.

На моторним возилима код којих је мотор напред а погон позади, карданово вратило се користи као део система за пренос снаге. Њима се преноси обртни момент из мењача брзина на главни преносник и конусни-тањирски пар. Обично се користи оно са једном или две карданске спојнице. Флексибилно је и може се померати од 30° што је веома значајно, с обзиром да се погонски точкови возила крећу континуирано горе-доле како би ублажили пренос ударних сила са пута на каросерију, па је потребна веза за пренос снаге од мотора до погонских точкова која је крута. Та "еластична" веза је управо карданско вратило.



Слика 2.8. Карданско вратило [11]

2.2.4. Брегасто вратило

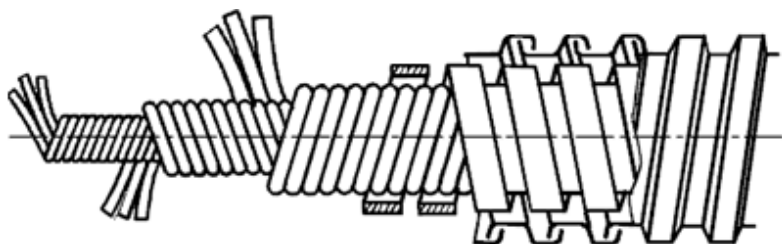
Брегасто вратило (слика 2.9.) је вратило које својим бреговима помаже отварању усисних, односно издувних вентила. Представља један од најважнијих елемената мотора аутомобила. Од њеног рада зависи буквално све - снага мотора, потрошња горива, количина издувних гасова, трајност мотора. Она контролише рад усисних и издувних вентила и то чини преко специјалних "брегова" који се налазе дуж ње. Оно је спојено са коленастим вратилом због тачног отварања и затварања појединих вентилау правим тренуцима, и да се не догоди ударање клипа у вентиле. Може бити повезано на коленасто вратило на четири начина: 1) зупчастим ременом и зупчастим ременицама, 2) ланцем и ланчаником, 3) косом осовином, 4) зупчаницима.



Слика 2.9. Брегасто вратило [11]

2.2.5. Гипко вратило

Гипка вратила (слика 2.10.) служе за преношење обртног момента када геометријска оса вратила мења свој просторни положај. Употребљавају се за преношење мањих обртних момената. Састоје се од једне или више жица увијених у виду цилиндричних завојних опруга чији се завојци додирују. Гипка вратила се примењују код брушења покретним тоцилом, за бушење у зуботехници, чишћење котловских цеви и др.



Слика 2.10. Гипко вратило [11]

Гипка вратила за пренос обртних кретања, пречника до $\varnothing 6 \text{ mm}$;

- Гипка вратила $\varnothing 2,2 \text{ mm}$;
- Гипка вратила $\varnothing 3,2 \text{ mm}$;
- Гипка вратила $\varnothing 3,8 \text{ mm}$;
- Гипка вратила $\varnothing 4,0 \text{ mm}$;
- Гипка вратила $\varnothing 5,2 \text{ mm}$;
- Гипка вратила $\varnothing 6,0 \text{ mm}$.

Примена: за погон контролних инструмената и даљинског управљања, за регистровање брзина, пређеног пута и времена рада, путем брзиномера, такографа и обртомера.

Гипка вратила за пренос обртних кретања, пречника преко $\varnothing 6 \text{ mm}$.

- Гипка вратила $\varnothing 7,0 \text{ mm}$;
- Гипка вратила $\varnothing 10,0 \text{ mm}$;
- Гипка вратила $\varnothing 12,0 \text{ mm}$;
- Гипка вратила $\varnothing 15,0 \text{ mm}$;
- Гипка вратила $\varnothing 18,0 \text{ mm}$;
- Гипка вратила $\varnothing 20,0 \text{ mm}$;
- Гипка вратила $\varnothing 25,0 \text{ mm}$;

Примена: за пренос снаге од мотора до радних органа код первибратора, покретних бруслица и бушилица, уређаја за чишћења одводних цеви, машина за обраду дрвета.

3. Материјал вратила

Избор материјала вратила се врши на основу захтева у погледу чврстоће, издржљивости, тврдоће, осетљивости на неравномерну расподелу оптерећења, обрадљивости, трошкове израде и др. Критеријуми за избор материјала вратила се одређују према врсти и величини оптерећења, месту и начину ослањања рукаваца у лежајима или лежиштима, конструкционим решењима обликовања и збијености конструкције, потребне крутости. Понекад се користе вратила израђена од нодуларног лива. Од једноставнијих уређаја, за израду вратила користи се дрво. За вратила машина нормалне и повишене тачности, улежиштених помоћу котрљајућих лежишта, препоручује се површинско отврдњавање индукционим каљењем до тврдоће 48-56 *HRC*. Применом угљеничних челика са већим садржајем угљеника (0.4-0.5 %) или легираних челика (хром челици нпр) може бити обезбеђена ова тврдоћа.

У зависности од наменске функције и радних услова (као што су утицај агресивне средине и др.), на избор материјала неког вратила може да утиче величина динамичке издржљивости (чврстоће), осетљивост на концентрацију напона, погодност за термичку обраду клизних површина рукавца, цена и друга својства и захтеви.

Основни материјали за вратила су угљенични (обични) конструкциони челици, челици погодни за побољшање и цементацију [3].

У циљу издржавања насталих оптерећења услед савијања и увијања поред површинске тврдоће и отпорности на хабање захтева се и велика живавост. Будући да запреминским каљењем се то не може обезбедити примењује се површинско каљење. Запреминско каљење се примењује за вратила сложених облика, нпр. код вратила где су присутни конусни отвори мањих димензија, прирубнице, жљебови и сл. Овим каљењем се добија тврдоћа вратила и до 60 *HRC*. Код радних површина вратила где се захтева велика тврдоћа (преко 54 *HRC*), вратила се израђују од нискоугљеничних челика који се цементирају или нитрирају. Оваква вратила се кале до одређене тврдоће да би се повећала отпорност на хабање.

За радна вратила алатних машина високе тачности, улежиштена котрљајућим лежиштима код којих постоје веома строги захтеви у вези тачности, израде, стабилности мера и облика и отпорности на хабање, препоручује се поступак нитрирања и примена легираних челика.

Конструкциони челици (S275JO, E295, E335 и E360) се често користе јер су јефтине и погодне за обраду. Њихове мане су: мала издржљивост, чврстоћа и тврдоћа у односу на друге челике. Карактеристике материјала за израду вратила дате су у (табели 3.1.).

Челици за побољшање су веће издржљивости, чврстоће и тврдоће. Користе се за израду високо оптерећених вратила (нпр. вратила турбина, тешких алатних машина, возила, мотора, преносника великих снага и др.) и осовина шинских возила.

Од угљеничних конструкционих челика са гарантованим хемијским саставом за израду вратила се користе челици C35 и C45 јер имају изванредне особине.

Према стандардима за израду локомотивских коленастих вратила и веома напрегнутих осовина за шинска возила, као обавезан материјал користи се челик легиран са хромом и молибденом 25CrMo4, а за рукавце и криваје 42CrMo4.

Висколегирани челици се примењују за израду вратила мањих димензија због малих димензија крутост вратила је мала. Зато у раду настају велике еластичне деформације, а код брзоходних вратила и динамичка нестабилност.

Челици за цементацију се користе за израду брзоходних и високо оптерећених вратила. То су углавном следећи челици: C10E, C15E, 16MnCr5, 20MnCr5, 15CrNi6, 15CrMo5 и 20MnCr4. Ови челици се одликују великом површинском тврдоћом и употребљавају се за израду вратила код којих су поједини делови (рукавци и др) изложени интензивном клизању. Имају већу чврстоћу од обичних конструкционих челика, а мању од легираних челика.

Брзоходна вратила, чији су рукавци или поједини делови изложени интензивном клизању контактних површина, израђују се од цементираних челика велике површинске тврдоће. Такође, од челика погодних за цементацију, израђују се брегаста вратила и вратила израђена изједна са другим деловима.

За израду вратила - могу се употребити и други челици према намени и радним условима вратила.

Права вратила се израђују, најчешће, поступцима обраде метала резањем на стругу после чега следи обрада брушењем. Примењују се и поступци хладног извлачења за мање оптерећена вратила. Нарочита пажња се посвећује обради рукаваца, јер су они изложени трењу и хабању. Због тога се рукавци подвргавају термичкој обради, после чега следи брушење и полирање. Уопштено, применом квалитетнијих материјала добијају се мање димензије вратила, али је њихова израда скупља и компликованија.

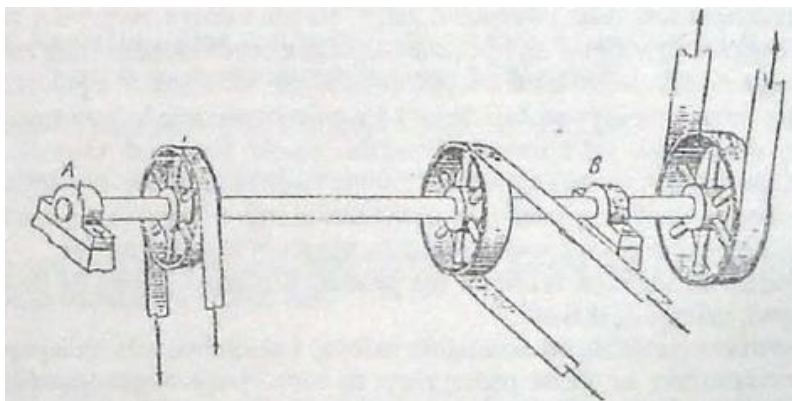
Врста и ознака материјала		Затезна чврстоћа Rm, МПа			Граница развлачења ReH, МПа			Тврдоћа HB
Конструкциони челици					d<16mm	16-40	40-100	
	S185	340-420			210	200	190	95-120
	S235JR	370-450			240	230	220	105-125
	S275JO	420-500			260	250	240	120-140
	E295	500-600			300	290	280	140-170
	E335	600-720			340	330	320	170-195
	E360	700-850			370	360	350	195-240
Челици за побољшање		d<16mm	16-40	40-100	d<16mm	16-40	40-100	
	C25	550-700	500-650	-	350	300	-	156
	C35	630	600	550	430	350	320	163
	C45	700-850	650-800	630-780	500	430	370	207
	C60	850-1000	800-950	750-900	580	520	450	241
	28Mn6	780-930	690-840	640-790	590	490	440	223
	34Cr4	900-1100	800-950	700-850	700	590	460	223
	42CrMo4	1100-1300	1000-1200	900-1100	900	750	650	241
	36CrNiMo4	1100-1300	1000-1200	900-1100	900	800	700	248
	30CrNiMo8	1250-1450	1200-1450	1100-1300	1050	1020	900	248
Челици за цементацију		d<11mm	11-30	30-63	d<11mm	11-30	30-63	
	C10	650-800	500-650	-	400	300	-	90-131
	C15	750-900	600-800	-	450	360	-	103-146
	16MnCr5	900-1200	800-1100	650-950	630	600	450	140-207
	15CrNi6	1100-1300	900-1200	800-1100	680	630	550	152-217
	15CrMo5	900-1200	800-1100	-	630	600	-	140-207
	20MnCr4	1150-1450	1100-1400	1000-1300	850	800	700	152-217
Челични лив	GS200	380			190			110
	GS240	450			230			130
	(ČL0500)	520			260			150
	(ČL0600)	600			300			174
Сиви лив		Rm затезањ е	Rm притисак	Rm савијање	T _M увијање			
	EN-GJL-150	140-150	520-560	270-320	190-200			200
	EN-GJL-200	180-220	660-800	330-410	230-280			220
	EN-GJL-250	240-280	880-900	390-460	310-320			240
	EN-GJL-350	300-350	1000-1150	510-540	400-440			190-275
Челици за лимове		Rm			ReH			
	(Č1202)	350-450			210			
	P265GH	410-500			240			
	(Č1206)	440-530			260			
Челици за цеви	(Č1208)	340-420			210			
	(Č1212)	350-450			240			
	(Č1213)	450-550			260			
	(Č1402)	550-650			300			
	(Č1502)	650-750			400			
	(Č3100)	520-620			360			

Табела 3.1. Механичке карактеристике челика, челичног и сивог лива [3]

4. Конструктивни облици вратила

Конструктивни (геометријски) облик вратила одређен је обликом и променом његовог попречног пресека дуж његове осе – у зависности од оптерећења, начина ослањања и остваривања спојева са другим елементима.

На (слици 4.1.) приказано је трансмисионо вратило које прима и преноси обртне моменте каишним паровима.



Слика 4.1. Трансмисионо вратило каишног преносника [5]

Попречни пресеци вратила могу бити круг, квадрат, троугао, искошени троугао (заменеује уздужни клин) и кружни прстен. Пуни попречни кружни пресек је најпогоднији за израду и најчешће изведен конструкциони облик вратила.

Када је потребна велика крутост и мала маса (односно тежина) вратила, или за посебне намене шупљине (довођење шипки за обраду на стуговима и друге намене), користе се шупља вратила. Мале дебљине зидова цеви за израду шупљих вратила неповољне су за остваривање везе са осталима елементима, па се ова вратила најчешће примењују за преношење обртних момената. Вратила која преносе само обртне моменте називају се још и трансмисионим вратилима.

На обликовање вратила дуж његове осе могу да утичу: врста и величина оптерећења, његова намена, потребна крутост (односно дозвољени угиби и нагиби у појединим местима пресека), погодност монтаже, технолошки услови израде и друга својства у циљу остваривања техноекономске оптимизације сигурног и поузданог рада у предвиђеном веку трајања.

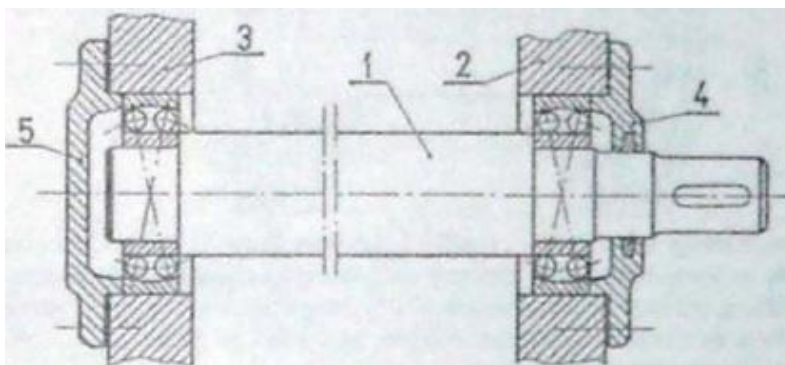
При обликовању вратила треба тежити што једноставнијем технолошком процесу израде и монтаже, са постепеним променама попречних пресека у циљу смањења концентрације напона и остваривања његове динамичке издржљивости (чврстоће) против лома од замора конструкционог материјала током предвиђеног радног века и извршавања намене. Зато пречник исправног конструисаног вратила, не може бити мањи од најмање прорачуном добијене величине у ма ком његовом попречном пресеку на његовој дужини.

Елементи израђени са вратилом могу да дају посебан облик вратилу, као и брегови, криваје или дискови. Утицај температуре и аксијалних сила на исправно функционисање вратила решава се поступцима за одређивање одговарајућих зазора.

Свако вратило мора бити оптимално димензионисано и конструктивно обликовано, у складу са SRPS стандардима дужинских мера, квалитета толеранције и површинске обраде, ради поузданог извршавања намене у предвиђеном веку трајања радних услова и потребне издржљивости.

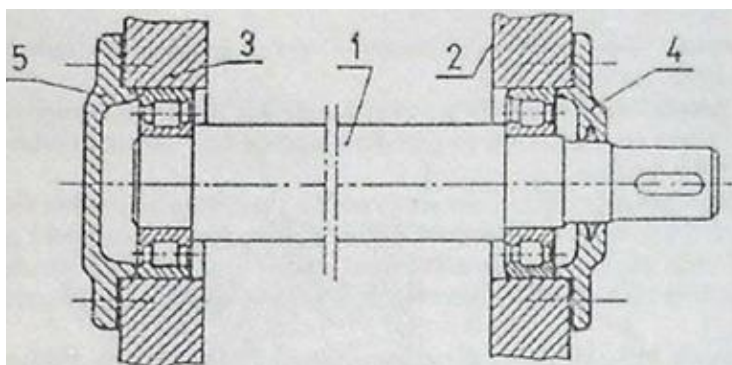
На следећим сликама приказани су неки карактеристични примери ослањања вратила у лежajевима са котрљајућим елементима.

Позиционирање и учвршћивање вратила извршено је преко његових ослоних површина и оба лежаја са поклопцима (4) и (5). Могућност малих угиба вратила у току рада обезбеђује се зазором од 25 до 30 μm између поклопца (4) и спољњег прстена десног лежаја (слика 4.2.).



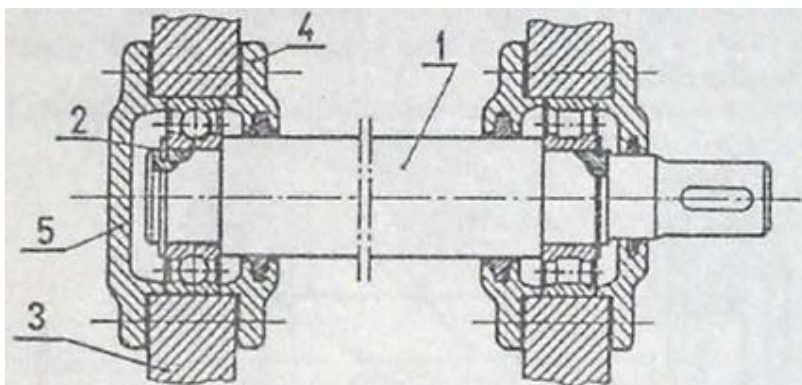
Слика 4.2. Вратило 1 ослоњено на рукавцу у радијалним лежајевима са кугличним котрљајућим елементима, а њиховим спољни прстенови на ослонце 2 и 3, [5]

Могућност малих угиба током рада обезбеђује се зазором $Z = 25 - 30 \mu m$ између поклопца (4) спољњег прстена десног лежаја са ваљчићима као котрљајућим елементима (слика 4.3.).



Слика 4.3. Осно позиционирање и учвршћивање вратила остварује се помоћу ослоних површина вратила 1 поклопца и оба лежаја 4 и 5. [5]

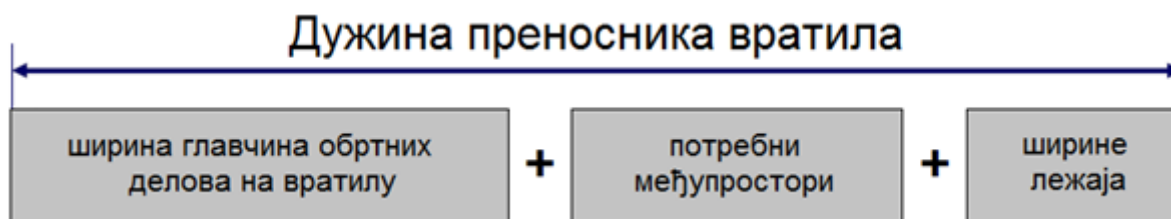
Могућност већег угиба вратила обезбеђује се десним ваљчастим лежајем код кога је могуће померање унутрашњег прстена са ваљчићима (слика 4.4.).



Слика 4.4. Осно позиционирање и учвршћивање вратила 1 извршено је преко његових ослонох површина на левој страни, једноредног радијалног кугличног лежаја у ослонцу 3, еластичног прстена 2 и поклопаца 4 и 5. [5]

5. Димензионисање вратила

Димензионисање вратила врши се првенствено на основу потребне чврстоће, провере крутости и осцилаторне стабилности конструкције. Одређивање димензија попречних пресека вратила врши се на основу потребне чврстоће тако да не дође до разарања током века трајања и извршавања намене у предвиђеним радним условима. Дужина вратила, односно растојање између ослонаца зависи од његове функције.



Израз за одређивање идеалног момента савијања у ма ком попречном пресеку вратила:

$$M_i = \sqrt{M_{S^2} + \left(\frac{[\sigma_s]}{2[\tau_u]} \cdot M_u \right)^2} = \sqrt{M_{S^2} + \left(\frac{\alpha_0}{2} \cdot M_u \right)^2}$$

Где је:

M_S, Nmm - величина укупног момента савијања

$\sigma_s, N/mm^2$ - величина критичног напона савијања материјала вратила

$\tau_u, N/mm^2$ - величина критичног напона увијања вратила

M_u, Nmm - величина момента увијања у односним попречном пресеку вратила

$\alpha_0 = \frac{[\sigma_s]}{[\tau_u]}$ - коефицијент прерачунавања (еквиваленције) критичних напона

Дејством сведеног (еквивалентног) момента савијања M_i у неком попречном пресеку, настаје величина идеалног напона савијања σ_i која мора бити мања или највише једнака дозвољеном напону савијања σ_{sdoz} :

$$\sigma_i = \frac{M_i}{W} = \frac{M_i}{0,1 d_i^3} \leq \sigma_{sdoz}$$

Тако да према овом изразу следи:

$$d_i = \sqrt[3]{\frac{10 M_i}{\sigma_{sdoz}}}$$

Где је:

$W = \frac{\pi \cdot d_i^3}{32} \cong 0,1 d_i^3$ - отпорни момент кружног попречног пресека вратила идеалног пречника d_i у mm.

Израчуната вредност пречника вратила d_i даље се усаглашава према намени тог дела вратила у односном пресеку, али тако да вредност d_i може остати непромењена и односи се на део вратила без спојева главчина носећих елемената.

Пречник d_i вратила у појединим пресецима, на местима остваривања споја са главчином носећњг елемента повећава се ради узимања у обзир слабљења услед смањења попречног пресека ради израде жлеба за клин и сл. Након тога се повећана вредност усагласи са првом већом стандардном величином пречника вратила.

Величина дозвољеног напона одређује се узимајући у обзир одговарајући материјал, степен сигурности, могућност и величину појаве концентрације напона, утицај величине пресека, квалитета површине, деловање агресивног медијума и других специфичних радних услова преносника снаге.

Величина дозвољеног напона савијања σ_{sdoz} за одређивање идеалног пречника вратила у неком попречном пресеку одређује се на основу наизменично променљиве издржљивости стандарне епрувете $\sigma_{Dns} = \sigma_{D(-1)}$ и процене очекиване величине d_i , величине степена сигурности S и корекционог коефицијента динамичке издржљивости K_D :

$$\sigma_{sdoz} = \frac{[\sigma_s]}{S \cdot K_D} = \frac{\sigma_{Dns}}{S \cdot K_D} = \frac{\sigma_{D(-1)}}{S \cdot K_D} \quad [2]$$

Где је:

$[\sigma_s] = \sigma_{Dns} = \sigma_{D(-1)}$, N/mm^2 - величина критичног напона савијања конструкционог материјала вратила,

S - величина усвојеног степена сигурности вратила за димензионисање попречног пресека чија се оријентациона вредност може узети око 2,

K_D - корекциони коефицијент динамичке издржљивости који обухвата процену утицаја концентрације напона, величине попречног пресека, квалитета обраде површина, корозионих процеса и других утицаја.

За приближне прорачуне пречника вратила узимају се оријентационе вредности K_D из (табеле 5.1.) према величини затезне чврстоће материјала вратила.

Геометријски облик и спој вратила	Затезна чврстоћа $\sigma_M [N/mm^2]$	
	до 700	изнад 700
Глатко са сталним пречником	1,0	1,26
На местима промене пречника	1,5 - 2,2	1,8 - 2,5
Са жлебом за уздужни клин	1,5 - 2,0	1,8 - 2,1
Са прстенастим жлебом по обиму	2,1 - 2,2	2,2 - 2,5
Ожлебљено са правим боковима	2,0 - 2,3	2,1 - 2,6
Ожлебљено са еволвентним боковима	1,5 - 1,8	1,8 - 2,1
Спој са деловима са лабавим налегањем	1,2 - 1,7	1,6 - 2,1
Спој са обртним деловима са неизвесним налегањем	1,8 - 2,3	2,0 - 2,5
Спој са обртним деловима са чврстим налегањем	2,3 - 3,0	2,7 - 3,5
Са попречним отвором кружног пресека	2,1 - 2,2	2,0 - 2,6
Места са навојем	1,5 - 1,8	1,8 - 2,3

Табела 5.1. Оријентационе вредности K_D за приближне прорачуне вратила [5]

За грубље обрађене површине и конструкционе материјале вратила са већом затезном чврстоћом и већим пречницима, као и за израженије промене попречног пресека и за веће преклопе треба узимати веће вредности K_D .

5.1. Прорачун крутости вратила

5.1.1. Деформације вратила

Крутост, односно деформације вратила представљају важан критеријум при прорачуну и конструисању вратила. У појединим случајевима поред прорачуна чврстоће вратила потребно је спровести и прорачун крутости тј. деформације вратила.

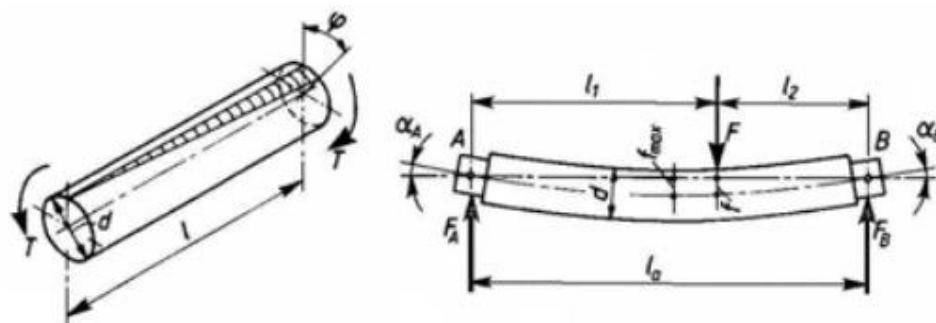
Вратило се услед доминантних напрезања (савијања и увијања) деформише на два начина: [4]

1) услед савијања на оптерећеном вратилу се појављују угиби и нагиби на појединим тачкама вратила. Тада вратило добија облик који одговара просторној еластичној линији.

2) услед увијања делови на једном крају вратила заокренути су у односу на делове на другом крају за величине угла увијања (слика 5.1.).

Услед ових деформација долази до одступања стварног положаја делова који се налазе на вратилу у односу на геометријски тачан положај. Ово има за последицу промену геометријских односа делова који се налазе на вратилу што може имати пресудан утицај на њихов исправан рад. То се нарочито односи на зупчанике, лежаје, роторе неких турбо машина, итд.

Прорачун крутости вратила своди се на одређивање еластичне линије, тј. угиба и нагиба вратила у појединим пресецима односно одређивања угла увијања.



Слика 5.1. Деформације вратила услед увијања и савијања [4]

Крутост је посебно значајна за вратила преносника. Еластичне деформације доводе до поремећаја положаја обртних делова, нарочито код зупчаника. Услед ових деформација долази до одступања у спрезању зубаца зупчаника, а ако су угиби вратила сувише велики може доћи до истискивања зубаца из спреге и до лома зубаца, а да при том вратило остане неоштећено.

У критичним случајевима треба, према томе, израчунати угиб и нагиб осовине или вратила и установити јесу ли у дозвољеним границама. Тако је препоручљиво да угиб f испод активних сила треба да је $f \leq 0.00035 L$, где је L - распон између отпора ослонца, односно растојање од активне силе на препусту до ближег отпора ослонца. Угао нагиба је $\tan \alpha_{A,B} \leq 0.001 \dots 0.002$, при чему се мање вредности односе на релативно дугачка клизна лежишта, а веће вредности се дозвољавају за релативно краћа клизна лежишта ($l/d \leq 0.8$) и круте лежаје.

Критичан број обртаја вратила зависи од његове крутости

$$n_{kr} = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m}}$$

Где је:

c - крутост вратила на савијање зависно од распона ослонаца, пречника и модула еластичности,

m - маса диска на вратилу заједно са сопственом масом вратила.

5.1.2. Критичне и дозвољене деформације

Сувише велике деформације вратила доводе до критичног стања делова на вратилу у погледу њихове функције, односно њихове кинематике, динамике и чврстоће. Због тога се јавља потреба да се за сваки део изврши одговарајућа анализа и одреде граничне вредности деформација у оквиру којих он може да успешно остварује своју функцију.

Максимална дозвољена вредност угла увијања вратила креће се у зависности од врсте дела на вратилу у границама $\varphi = (0,004 - 0,009) \text{ rad/m}$.

Дозвољене деформације одређују се на основу детаљног прорачуна или на основу искуства за сваки део посебно. Код делова компликованијег облика ово може понекад да представља велики проблем.

За случај да се не располаже тачнијим вредностима дозвољених деформација вратила могу се користити следеће граничне вредности нагиба вратила:

- крути котрљајни и подесиви клизни лежаји $\tan \alpha \approx 0,001$
- неподесиви клизни лежаји $\tan \alpha \approx 0,0003$
- несиметрично улежиштени зупчаници $\tan \alpha \approx 0,00015$
- зупчаници на препусту $\tan \alpha \approx 0,0001$

5.2. Степен сигурности вратила

Сигурност се исказује одговарајућом величином степена сигурности вратила. Вратило у раду изложено је радном оптерећењу које изазива одговарајуће напрезање, чија се величина изражава бројчаном величином напона. Отуда је сигурност вратила против појаве критичног стања и против разарања обезбеђена ако је радно оптерећење мање од критичног напона. Ако би се величине радног и критичног оптерећења могле поуздано утврдити, могло би се допустити да радни напон буде близак величини критичног напона вратила.

Како је то практично тешко изводљиво уводи се степен сигурности S који представља однос између критичног и радног оптерећења.

Степен сигурности за нормални напон:

$$S_{\sigma} = \frac{[\sigma]}{\sigma}$$

Степен сигурности за тангентни критични $[\tau]$ и радни τ напон:

$$S_{\tau} = \frac{[\tau]}{\tau}$$

Величина критичног напона не одређује се за све величине узорка експерименталних испитивања, већ за стандардне епрувете и одређене услове.

Величина радног напона одређује се на основу радних оптерећења, која се тешко могу тачно утврдити због одступања радних услова у којима вратило треба да извршава своју намену у склопу машине или машинског система у предвиђеном веку трајања и тражене поузданости.

Како се и напони одређују и израчунавају под одређеним претпоставкама у отпорности материјала, то и величине радних напона могу бити различите и веће од израчунатих вредности.

Степен сигурности вратила одређује се и проверава на свим местима где се може очекивати да величина радног напона буде изнад критичне вредности за материјал и врсту напрезања у критичном пресеку у коме би могло доћи до појаве разарања. То су места промена попречног пресека, са великим променљивим оптерећењима и изразито великом концентрацијом напона, на местима и у непосредној близини главчина носећих елемената на вратилу.

Величина степена сигурности при затезању S_z одређена је према обрасцу за критични напон вратила $[\sigma_{DMz}]$ и радни напон σ_z :

$$S_z = \frac{[\sigma_{DMz}]}{\sigma_z},$$

а при савијању вратила:

$$S_s = \frac{[\sigma_{DMs}]}{\sigma_s}$$

Како су напрезања на савијање и затезање нормална напрезања, то је величина степена сигурности вратила, изложеног у неком пресеку истовремено затезању и савијању, одређена је обрасцем:

$$S_\sigma = \frac{S_z \cdot S_s}{S_z + S_s}$$

где су S_z и S_s величине одговарајућих парцијалних степена сигурности у пресеку вратила изложеном истовремено напрезању на затезање и савијање.

Напрезања на савијање и увијање су различита па се величина степена сигурности вратила у пресеку, истовремено изложеном сложену различитом напрезању на савијање и увијање, може одредити према обрасцу:

$$S = \frac{S_s \cdot S_u}{\sqrt{S_s^2 + S_u^2}}$$

Провера величине степена сигурности у неком попречном пресеку вратила може се вршити према односу критичног напона савијања $[\sigma_s]$ и производа

корекционог фактора динамичке чврстоће K_D и сведеног напона савијања σ_i у односном пресеку:

$$S = \frac{[\sigma_s]}{K_D \cdot \sigma_i} = \frac{\sigma_{Dns}}{K_D \cdot \sigma_i} = \frac{\sigma_D (-1)}{K_D \cdot \sigma_i}$$

Степени сигурности против лома вратила услед замора су [5]:

- при савијању
$$S_s = \frac{[\sigma_s]}{\sigma_s} = \frac{\xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 \cdot \sigma_{Ds}}{\beta_k \cdot \sigma_s}$$

- при увијању
$$S_t = \frac{[\tau_t]}{\tau_t} = \frac{\xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 \cdot \tau_{Dt}}{\beta_k \cdot \tau_t}$$

- при смицању
$$S_{st} = \frac{[\tau_s]}{\tau_s} = \frac{\xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 \cdot \tau_{Ds}}{\beta_k \cdot s}$$

- при затезању или притиску
$$S_{z(p)} = \frac{[\sigma_z]}{\sigma_z} = \frac{\xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 \cdot \sigma_{Dz}}{\beta_k \cdot \sigma_z}$$

Вредности $[\sigma_s], [\tau_t], [\sigma_z]$ и $[\tau_s]$ су одговарајући напони материјала вратила при савијању, увијању, затезању (притиску) и смицању узимајући у обзир и карактер промене оптерећења.

За приближне прорачуне степен сигурности је:

$$S_s = \frac{[\sigma_s]}{K \cdot \sigma_s}; S_t = \frac{[\tau_t]}{K \cdot \tau_t}; S_{z(p)} = \frac{[\sigma_z]}{K \cdot \sigma_{z(p)}}; S_{st} = \frac{[\tau_s]}{K \cdot \tau_s}$$

Степени сигурности при смицању и затезању (притиску), где су одговарајући радни напони мали, имају велике вредности и ретко се проверавају.

Укупан степен сигурности при нормалним, односно тангенцијалним напонима је:

$$S_\sigma = \frac{S_s \cdot S_{z(p)}}{S_s + S_{z(p)}}; S_\tau = \frac{S_t \cdot S_{st}}{S_t + S_{st}}$$

При сложену напрезању, укупни степен сигурности вратила дат је изразом:

$$S = \frac{S_\sigma \cdot S_{z(p)}}{\sqrt{S_\sigma + S_{z(p)}}}$$

5.3. Оптерећење вратила

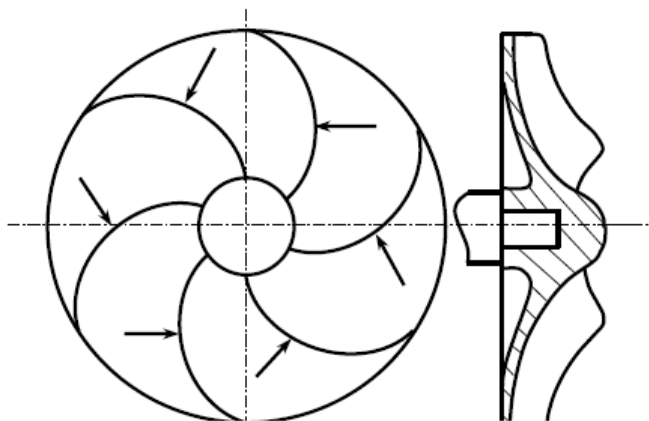
Вратило је изложено дејству просторног система сила и спрегова која преноси са делова које носи на непомичне ослонце. То су силе у спрегама зубаца зупчаника, обртни моменти који се посредством вратила преносе од једне главчине до друге и слична оптерећења.

Вратила су оптерећена [6]:

- 1) просторним системима сила и спрегова од обртних делова који се налазе на њима,
- 2) сопственом тежином вратила и делова и
- 3) инерцијалним силама услед неуравнотежености маса

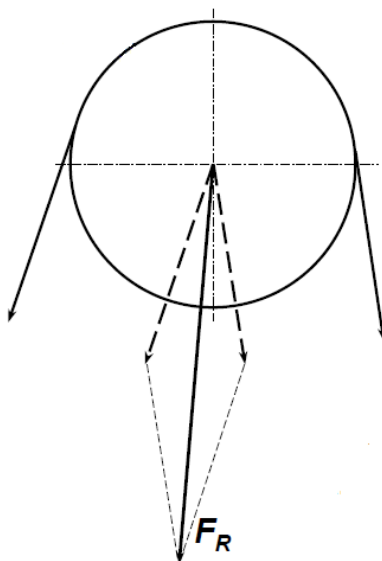
Према карактеру оптерећења које остварују, обртни делови који се ослањају на вратило, могу се поделити у три групе:

1) Обртни делови који оптерећење преносе целим својим обимом (слика 5.2.). Радијалне силе код ових и других сличних делова и склопова се уравнотеже и не преносе се на вратило. Они стварају обртни момент који делује на вратило, а постоји могућност да се на вратило пренесе евентуално и аксијална сила. У ову групу спадају обртна кола турбомашина, пумпи, вентилатора, турбина, турбопумпи, турбокомпресора, ротори електромотора, резни алати неких алатних машина (глодала, бургије и др.)



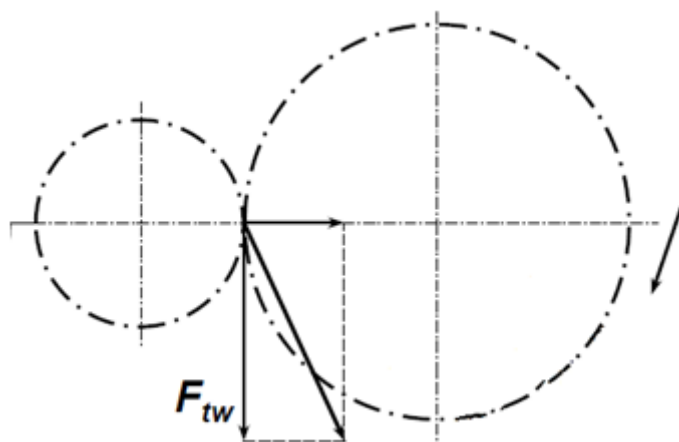
Слика 5.2. Цео обим [6]

2) Делови који снагу преносе једним делом свог обима (слика 5.3.) као што су зупчаци, каишни, фрикциони и ланчани парови-услед чега вратило оптерећују спрегови, обртни моменти и попречне силе, а код коничних и цилиндричних зупчаника са косим и завојним зупцима још и аксијалне силе. У ову групу обртних машинских делова спадају и погонски точкови железничких и друмских возила, добоши код дизалица, елементи извозних рударских и неких пољопривредних машина, неки алати код алатних машина и др.



Слика 5.3. Део обима [6]

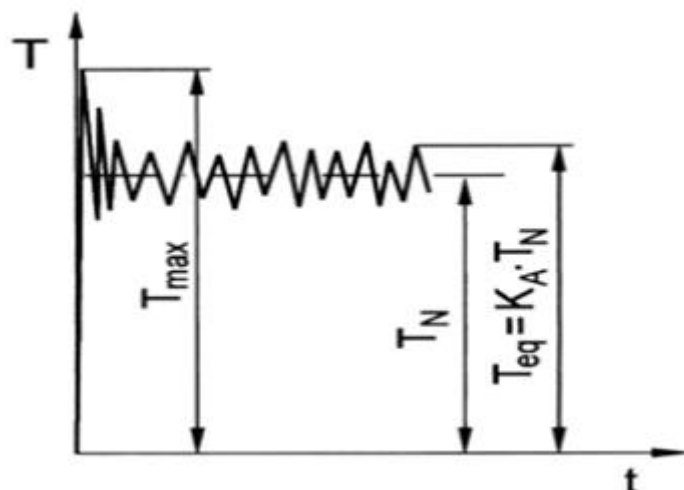
3) Обртни делови који снагу преносе додиром, теоријски у једној тачки на обиму (слика 5.4.). Ту спадају зупчаници и фрикциони парови код којих се међусобним притиском индукују силе у сва три правца у простору. Ове се силе преносе на вратило остварујући интезивно попречно и уздужно дејство. Осим тога, вратило је изложено дејству инерцијалних сила услед неуравнотежених маса, сударања обртних делова и др. Утицај сопствене тежине делова је такође присутан ако су масе ових делова значајне.



Слика 5.4. Тачкасти додир [6]

5.4. Силе на вратилу

На вратила делују обртни моменти (моменти торзије), најчешће и моменти савијања, а понекад и аксијалне силе. Та оптерећења нису константна током покретања и рада, него се мењају, зависно од радног и погонског строја. Највећа се оптерећења - обртни момент T_{max} односно момент савијања $M_{s max}$ обично јављају при покретању или заустављању строја (слика 5.5.).



Слика 5.5. Контрола на пластичну деформацију оптерећењем [4]

Утицај удара који производи радна машина, а понекад и погонски строј, нпр мотор са унутрашњим сагоревањем, узима се у обзир фактор примене K_A .

Еквивалентни обртни момент је:

$$T_{eq} = K_A \cdot T_N, (Nm) \text{ или } (Nmm)$$

T_N - главни обртни момент

Еквивалентни момент савијања је:

$$M_{seq} = K_A \cdot M_{sN}, (Nm) \text{ или } (Nmm)$$

M_{sN} - главни момент савијања

Са еквивалентним моментом се врши контрола на замор материјала при динамичким оптерећењима кад може наступити заморни лом.

Уколико све силе и моменти савијања не делују у једној равни, ради једноставности се растављају на компоненте у две међусобне вертикалне равни и затим се израчунава њихова резултанта.

Пример: вратило са погонским цилиндричним зупчаником са косим зубима. Сила која делује на зупчаник раставља се на тангенцијалну F_t , радијалну F_r и аксијалну компоненту F_a . Лежајеви А и В представљају ослоње у којима споменуте компоненте изазивају одговарајуће реакције.

Реакције у лежајевима се израчунавају тако да се постављају једначине равнотеже сила $\sum F = 0$ и равнотеже момената $\sum M = 0$.

Обимна сила F_t изазива радијалне реакције:

$$F_{Ax} = \frac{F_{tb}}{l}, F_{Bx} = \frac{F_{ta}}{l}$$

Радијална сила F_r изазив радијалне реакције:

$$F_{Ay1} = \frac{F_{rb}}{l}, F_{By1} = \frac{F_{ra}}{l}$$

Аксијална сила F_a изазива момент превртања $F_s \cdot \frac{d}{2}$, односно радијалне реакције у лежајевима:

$$F_{Ay2} = F_{By2} = \frac{F_a \cdot \frac{d}{2}}{l}$$

Силе F_{Ay2} и F_{By2} су супротног смера.

Резултирајуће радијалне реакције у лежиштима:

$$F_{Ar} = \sqrt{F_{Ax}^2 + (F_{Ay1} - F_{Ay2})^2}$$

$$F_{Br} = \sqrt{F_{Bx}^2 + (F_{By1} + F_{By2})^2}$$

Аксијалну силу F_a на зупчанику може преузети само један лежај. Аксијална реакција ће бити:

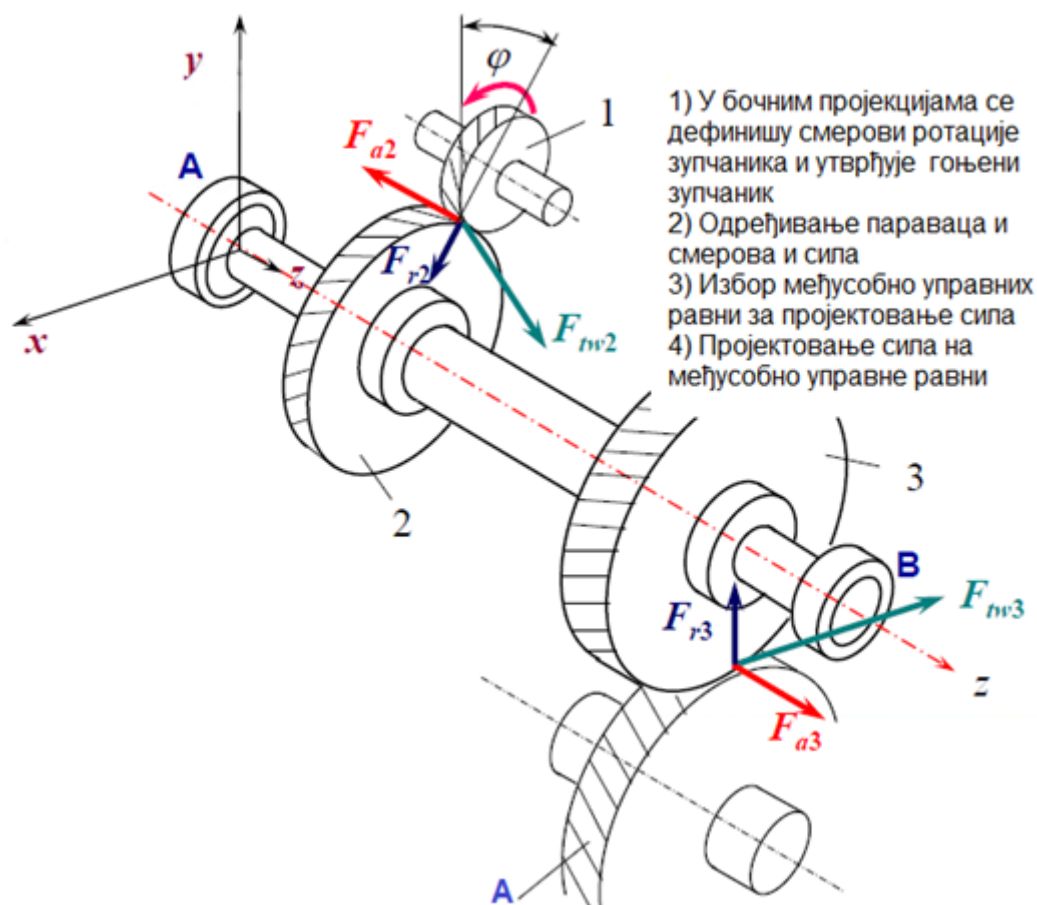
$$F_{Aa} = F_a$$

У свакој спрези зубаца делују:

- тангентна сила F_{tw} ,
- радијална сила F_r и
- аксијална сила F_a .

Спрега зубаца једног зупчастог пара може имати било који положај у простору тј. било где на обиму зупчаника.

Просторни систем сила се преводи у два раванска система, пројектовањем у две међусобне управне равни. То могу бити равни у_z и х_z у којима се формира модел греде и шема сила (слика 5.6.).



Слика 5.6. Поступак формирања шема сила [6]

5.5. Напрезања и напони на вратилима

Спољашња оптерећења изазивају одговарајућа напрезања која се изражавају величином напона. Напон представља бројчану величину унутрашњих сила (отпора чврстоће материјала дејству спољних оптерећења) по јединици површине неког пресека носача (вратила). Величина напона изражава се у N/m^2 , или N/mm^2 , и другим јединицама међународног система SI .

Расподела и величина напона по пресеку греде одређује се на основу закона отпорности материјала који се базирају на претпоставкама хомогености конструкционог материјала, непромењености пресека и да су сви напони у области односно подручју еластичности.

Код греда напрегнутих на савијање, за одређивање нормалних напона савијања, меродаван је нападни момент савијања у том пресеку. Деформације савијања карактеришу издужења (услед затезања) или скраћења (услед притиска) влакана греде (слика 5.7.). Тако при ротацији вратила уочена тачка у попречном пресеку пролази кроз зону нултог напона 1 и долази у зону максималног напона затезања 2, затим долази у зону нултог напона 3, па у зону максималног напона притискивања 4 и поново у нулту зону 1 - током једног пуног обрта. Даљим обртањем то се понавља и због тога се при прорачуну вратила користи критична

величина напона наизменично применљивог савијања $\sigma_{Dns} = \sigma_D (-1)$ за одређивање дозвољеног напона σ_{sdoz}

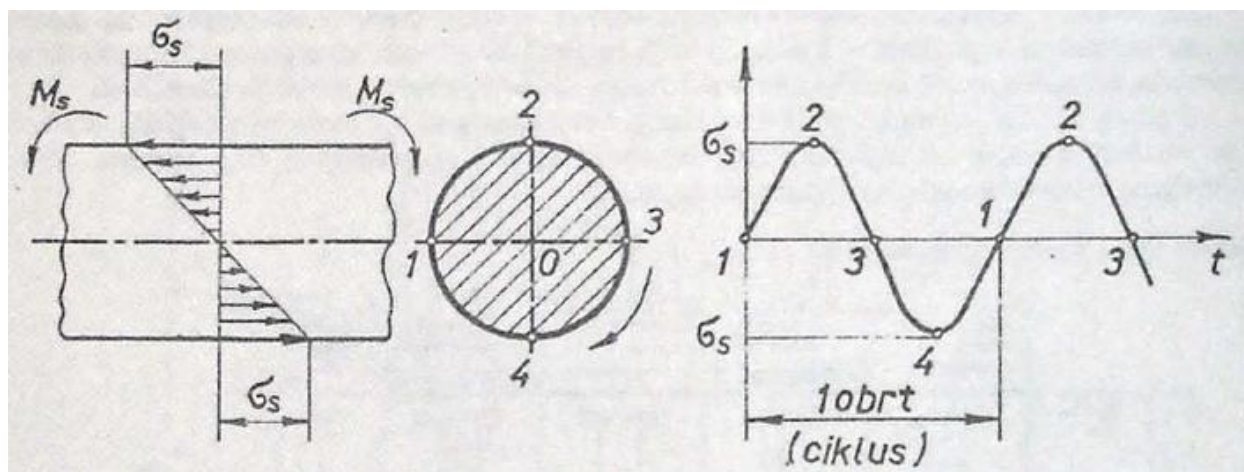
Тако се величина напона савијања вратила мења током сваког обртаја који представља пун циклус његове наизменично симетричне промене. На тај начин обртање вратила доприноси да се величина напона савијања σ_s мења и линеарно повећава - са удаљавањем од средишне осе пресека према најудаљенијим тачкама површинског слоја вратила. Највећи напони савијања су у најудаљенијим тачкама од неутралне осе греде.

Величина напона савијања σ_s одређена је према обрасцу из отпорности материјала:

$$\sigma_s = \frac{M_s}{W}$$

M_s, Nmm - момент савијања,

W, mm^3 - аксијални отпорни момент попречног пресека вратила



Слика 5.7. Део вратила изложен савијању моментом савијања M_s , при наизменично променљивом оптерећењу, током времена t [5]

Моменти увијања изазивају тангентне напоне τ_u који се линеарно повећавају са удаљеношћу од пола осе и имају највеће вредности на обиму попречног пресека вратила одређене су према отпорности материјала обрасцем:

$$\tau_u = \frac{M_u}{W_0}$$

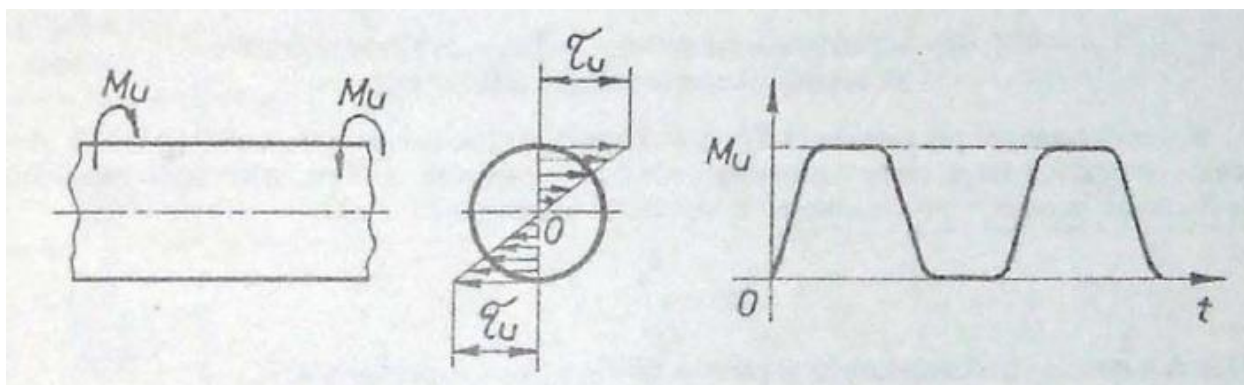
Где је W_0, mm^3 - поларни отпорни момент попречног пресека вратила.

При непромењеном моменту увијања, напон увијања остаје непромењен - без обзира на обртање вратила преносника снаге јер је W_0 константно за израђено вратило.

Како могу да се смањују радни отпори или да престане њихово дејство као и да се јави повремено искључење радне машине то може да се мења или престаје дејство обртног момента M_0 током времена t (слика 5.8.). Промена величине обртног момента M_0 или престанак његовог дејства - изазива одговарајућу промену величине напона увијања τ_u током времена t (слика 5.9.). Као учесталост, начин и број промена режима рада радне машине, а тиме и преносника снаге - могу бити веома различити током времена рада. О томе треба водити рачуна при одређивању сигурности и поузданости, као и при избору критичног напона који је меродаван за димензионисање вратила. Ако се вратило обрће само у једном смеру током рада, тада се прорачун вратила на увијање врши усвајајући да је промена напона једносмерна, а величина критичног напона увијања $\tau_{Dju} = \tau_{D(0)}$.

Ако је смер обртања вратила, током извршавања функције и века трајања, променљив - напони увијања би имали наизменичну промену и тада се прорачун на увијање врши према критичној величини напона увијања

$$\tau_{Dnu} = \tau_{D(-1)}.$$



Слика 5.8. Део вратила изложен увијању обртним моментом $M_0 = M_u$ са застојима током времена t , при једносмерно променљивом оптерећењу [5]

У попречним пресецима вратила изложеним истовремено напрезањима на савијање и увијање, одређује се идеални напон савијања σ_i оваквог сложеног напрезања редуковањем утицаја напона увијања на напон савијања:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_s^2 + \left(\frac{[\sigma_s]}{[\tau_u]} \cdot \tau_u \right)^2} \quad [5]$$

$\sigma_s, N/mm^2$ - величина радног напона савијања у уоченом попречном пресеку вратила,

$\sigma_s, N/mm^2$ - величина критичног напона савијања у одабраном пресеку вратила,

$\tau_u, N/mm^2$ - величина критичног напона увијања у одабраном попречном пресеку вратила,

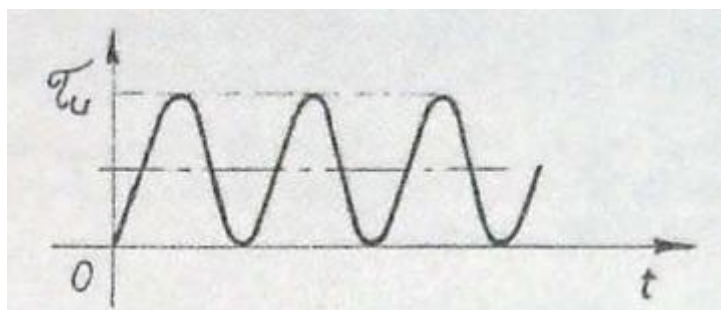
τ_u - величина напона увијања у одабраном попречном пресеку вратила.

При израчунавању сведеног напона савијања σ_i према обрасцу за сложена напрезања вратила на савијање и увијање истовремено у неком попречном пресеку, увек се узима величина критичног напона савијања за наизменично променљиво оптерећење $\sigma_s = \sigma_{D(-1)} = \sigma_{Dns}$ за челик од кога је вратило израђено или је предвиђена његова израда.

Величина критичног напона увијања узима се у зависности да ли се вратило обрће током извршавања функције у једном или оба смера:

$\tau_u = \tau_{D(0)} = \tau_{Dju}$ - када се вратило обрће само у једном смеру,

$\tau_u = \tau_{D(-1)} = \tau_{Dnu}$ - када се вратило стално или повремено обрће у оба смера ротацијом током рада преносника снаге.

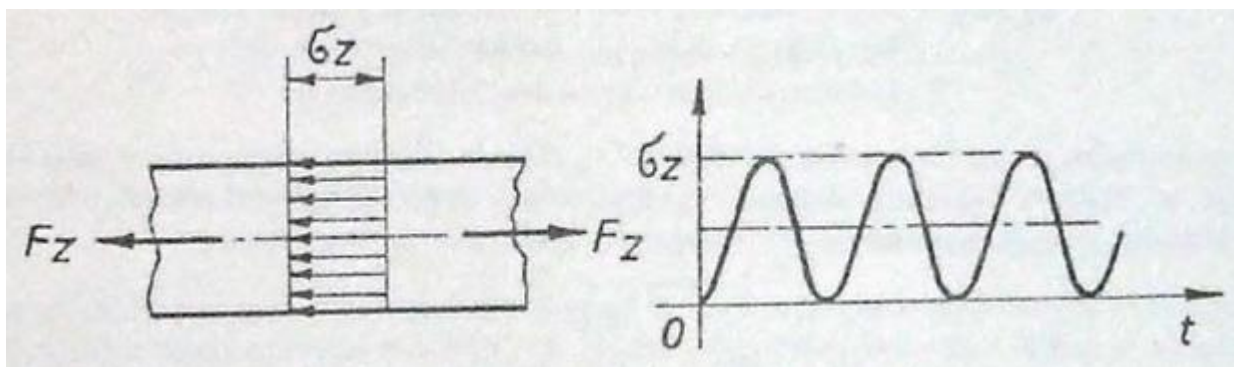


Слика 5.9. Изглед промене напона увијања, при једносмерно променљивом оптерећењу, током времена t [5]

Нормални напони при затезању и притискивању вратила, услед дејства аксијалних сила елемената преносника снаге, равномерно распоређени по попречном пресеку, услед дејства уздужне силе F_2 (слика 5.10.), могу се одредити према обрасцу:

$$\sigma = \frac{F_2}{A}$$

где је A, mm^2 - површина попречног пресека вратила на коју делује сила F_2 .



Слика 5.10. Део вратила изложен затезању уздужном силом F_z , при једносмерно променљивом оптерећењу, током времена t [5]

5.5.1. Радни напони

Под дејством оптерећења у појединим пресецима вратила јављају се следећи номинални напони [5]:

- напон на савијање $\sigma_s = \frac{M}{W}$,
- напон на затезање – притисак $\sigma_z = \frac{F_a}{A_z}$,
- напон на смицање $\tau_s = \frac{F_T}{A_s}$,
- напон на увијање $\tau_t = \frac{T_t}{W_p}$;

Радни напони при смицању и затезању су релативно мале вредности и често се занемарују.

Према хипотези о највећем деформационом раду при промени облика, еквивалентни напон код вратила дат је изразом:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma^2 + (\alpha \cdot \tau)^2} ; \quad \alpha = \frac{\sigma_{Ds(-1)}}{\tau_{Dt(0)}}$$

где је:

$\sigma_{Ds(-1)}$ - трајна динамичка чврстоћа при чисто наизменично променљивом савијању,

$\tau_{Dt(0)}$ - трајна динамичка чврстоћа при чисто једносмерно променљивом увијању.

5.5.2. Критични напони

Критични напони при савијању вратила једнаки су динамичкој издржљивости при чисто наизменично променљивом напрезању $\sigma_{Ds(-1)}$, односно трајно динамичкој издржљивости при једносмерно променљивом напрезању на савијање $\sigma_{Ds(0)}$ код непокретних осовина.

Меродавни критични напони су:

- При савијању
$$\sigma_s = \frac{\xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 \cdot \sigma_{Ds}}{\beta_k}$$
- При затезању или притиску
$$\sigma_z = \frac{\xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 \cdot \sigma_{Dz}}{\beta_k}$$
- При увијању
$$\tau_t = \frac{\xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 \cdot \tau_{Dt}}{\beta_k}$$
- При смицању
$$\tau_s = \frac{\xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 \cdot \tau_{Ds}}{\beta_k}$$

У зависности од карактера промене напона бирају се одговарајуће вредности карактеристика, на пример за σ_{Ds} ($\sigma_{Ds(-1)}$, $\sigma_{Ds(0)}$) и на сличан начин за σ_{Dz} , τ_{Dt} и τ_{Ds} .

Величине ξ_1 , ξ_2 и ξ_3 и β_k су:

- ξ_1 - фактор који узима у обзир величину попречног пресека вратила,
- ξ_2 - фактор који узима у обзир стање површине,
- ξ_3 - фактор ојачања површинског слоја и
- β_k - ефективни фактор концентрације напона

Фактори ξ_1 , ξ_2 и β_k зависе од врсте напрезања.

5.5.3. Концентрација напона у вратилу

Промена геометријског облика и димензија попречног пресека дуж вратила утичу на расподелу и величину напона на месту промене пречника, бушења отвора, урезивања жлеба за клин и спољњих ожлебљења, нарезивања навоја и др. На местима ослањања и остваривања спојева вратила са другим деловима, долази до повећања величине напона и концентрације напонских линија, нпр, на месту отвора. Услед урезивања жлебова и промене пресека вратила могућа је појава вишеструке концентрације напона у појединим пресецима о чему се још у фази конструисања и експерименталних испитивања нове конструкције мора водити рачуна, посебно ако се не ради о конструкционим челицима за такву

намену. Ово се решава оптимизацијом конструкционих и технолошких метода у фази прорачуна, избора конструкционог материјала и израде вратила за одређену намену. Највећи напони савијања на месту промене пресека вратила јављају се у површинском слоју и већи су од номиналног напона за величину теоријског фактора концентрације напона α_k . Ефекат концентрације напона у области еластичности изражава се преко α_k . Изворе концентрације напона могу да изазову неизвесна и чврста налегања ако у спојевима нису ивице благо закошене.

Обични конструкциони челици су мање осетљиви на појаву концентрације напона и од њих се често израђују вратила. У питању су челици Е295 и Е335. Вратило од челика веће јачине потребно је конструктивно и технолошки израдити тако да се утицај концентрације напона сведе на најмању могућу меру и оствари оптимална конструкција. Утицај конструкционог облика и материјала узима се у обзир увођењем ефективног фактора концентрације напона β_k при прорачуну машинског дела на издржљивост конструкционог материјала за дато оптерећење. У (табели 5.2.) су дате вредности ефективног фактора концентрације напона β_k при напрезању на савијање β_{ks} и увијању β_{ku} према величини и односу димензија и изгледу пресека вратила које је израђено од конструкционог материјала дате затезне чврстоће σ_M .

$\frac{h}{r}$	$\frac{r}{d}$	β_{ks}				β_{ku}			
		при $\sigma_M, N/mm^2$				при $\sigma_M, N/mm^2$			
		500	700	900	1200	500	700	900	1200
1	0,01	1,35	1,40	1,45	1,5	1,3	1,3	1,3	1,3
	0,02	1,45	1,50	1,55	1,6	1,35	1,35	1,4	1,4
	0,03	1,65	1,70	1,8	1,9	1,4	1,45	1,45	1,5
	0,05	1,60	1,70	1,8	1,9	1,45	1,45	1,5	1,55
	0,10	1,45	1,55	1,65	1,8	1,4	1,4	1,45	1,5
2	0,01	1,55	1,60	1,65	1,7	1,4	1,4	1,45	1,45
	0,02	1,8	1,90	2,0	2,15	1,55	1,6	1,65	1,7
3	0,03	1,8	1,95	2,05	2,25	1,55	1,6	1,65	1,7
	0,05	1,75	1,9	2,0	2,2	1,6	1,6	1,65	1,75
	0,01	1,90	2,0	2,1	2,2	1,55	1,6	1,65	1,75
	0,02	1,95	2,1	2,2	2,4	1,6	1,7	1,75	1,85
	0,03	1,95	2,1	2,25	2,45	1,65	1,7	1,75	1,9
4	0,01	2,1	2,25	2,35	2,5	2,2	2,3	2,4	2,6
	0,02	2,15	2,30	2,45	2,65	2,1	2,15	2,25	2,4

Табела 5.2. Оријентационе вредности ефективног коефицијента концентрације напона при савијању β_{ks} и увијању β_{ku} вратила конструкционог материјала дате затезне чврстоће σ_M [5]

5.6. Прорачун пречника вратила

Пречник вратила (идеални пречник) у произвољном пресеку вратила добија се из услова да је идеални (еквивалентни) напон σ_i мањи или једнак дозвољеном:

$$\sigma_i = \frac{M_i}{W} \leq \sigma_{sdoz}; \quad M_i = \sqrt{M^2 \cdot \left(\frac{\sigma_{Ds(-1)}}{\tau_{Dt(0)}} \cdot \frac{T_t}{2} \right)^2}$$

Идеални пречник пуног вратила кружног попречног пресека је:

$$d_i = \sqrt[3]{\frac{32M_i}{\pi \cdot \sigma_{sdoz}}} \approx \sqrt[3]{\frac{10M_i}{\sigma_{sdoz}}}$$

Спољашњи и унутрашњи пречник вратила прстенастог попречног пресека је:

$$d_{si} = \sqrt[3]{\frac{32M_i}{\pi \cdot \sigma_{sdoz} \cdot (1 - \psi^4)}} \approx \sqrt[3]{\frac{10M_i}{\sigma_{sdoz} \cdot (1 - \psi^4)}}; \quad d_u \leq \psi \cdot d_s$$

Где је $\psi = d_u/d_s$ однос унутрашњег и спољашњег пречника прстенастог попречног пресека.

Када је веза вратила и елемената остварена клином на прорачунату вредност пречника треба додати вредност дубине жлеба за клин t , па је $d_{vr} = d_i + t$ или $d_{vr} = d_{si} + t$. На основу прорачунате вредности пречника вратила (d_{vr}) усваја се прва већа стандардна вредност према табели, у супротном стандардизује се прорачуната вредност d_i (на пример, ако је веза остварена пресованим склопом).

Код ожлебљених вратила прорачуната вредност идеалног пречника одговара подножном пречнику жлебова d_f .

Вратило код којег је идеални напон $\sigma_i = \sigma_{sdoz} = const.$ по целој дужини је идеално вратило.

Да би се то остварило потребно је да се пречник вратила мења по кубној параболу. Значи идеално вратило има облик кубног параболоида. Око идеалног облика вратила налазе се стварне контуре вратила тако да стварна гранична линија стварног вратила нигде не задире у контуре идеалног вратила.

Вратила, код којих су моменти савијања једнаки нули или занемарљиво мали, изложена су само дејству момента увијања и често се називају „лака вратила“. Таква вратила су обично кратка, споредна трансмисиона вратила и др.

На пример, код пуних вратила кружног попречног пресека израз за напон на увијање гласи:

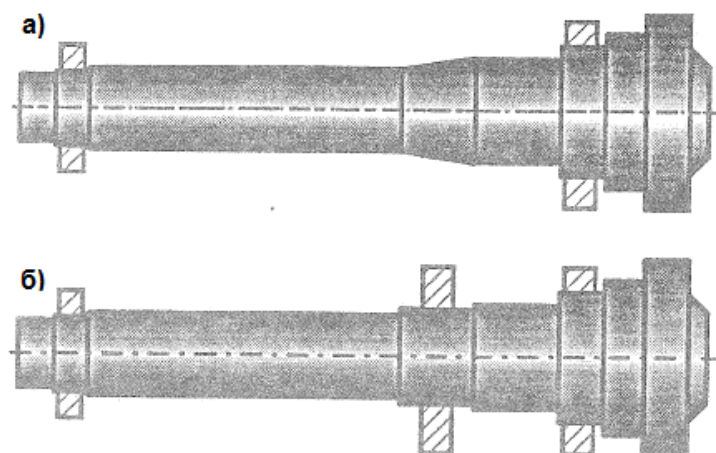
$$\tau_t = \frac{T_t}{W_p} = \frac{16 \cdot T_t}{d^3 \cdot \pi} \leq \tau_{doz}$$

Одавде следи израз за пречник лаких вратила:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_t}{\pi \cdot \tau_{doz}}} \approx \sqrt[3]{\frac{5 \cdot T_t}{\tau_{doz}}}; \quad \tau_{doz} = \frac{\tau_{Dt(0)}}{K \cdot S}; \quad S = 1,5 \dots 2,5$$

5.7. Улежиштења главних вратила

Геометријска и радна тачност алатне машине зависи од избора врсте, квалитета и димензија лежајева и њиховог распореда дуж вратила. Постоје различите конструкције улежиштења радних вратила машине. Она зависе од врсте обраде, величине и распореда оптерећења, димензија и облика вратила. Сва вратила се углавном ослањају на два, а понекад и на три ослонца, тј. лежишта (слика 5.11.). Трећи ослонац се у највећем броју случајева примењује из конструкционих разлога, првенствено код главних вратила. Дужина главних вратила је одређена димензијама самог преносника за главно кретање. Да би се смањиле вибрације у неким случајевима поставља се средње лежиште. Оно утиче такође и на пригушење у склопу вретеништа. Улежиштење на три ослонца има својих мана. Због захтева за идеалном саосношћу у све три тачке улежиштења јављају се одређене технолошке тешкоће тако да је велики број вратила алатних машина улежиштен на два ослонца. Код нових конструкција алатних машина, код којих се примењује ослањање на три ослонца, средњи ослонац је постављен ближе предњем крају, а понекад је постављен толико близу да може представљати део сложеног предњег ослонца.



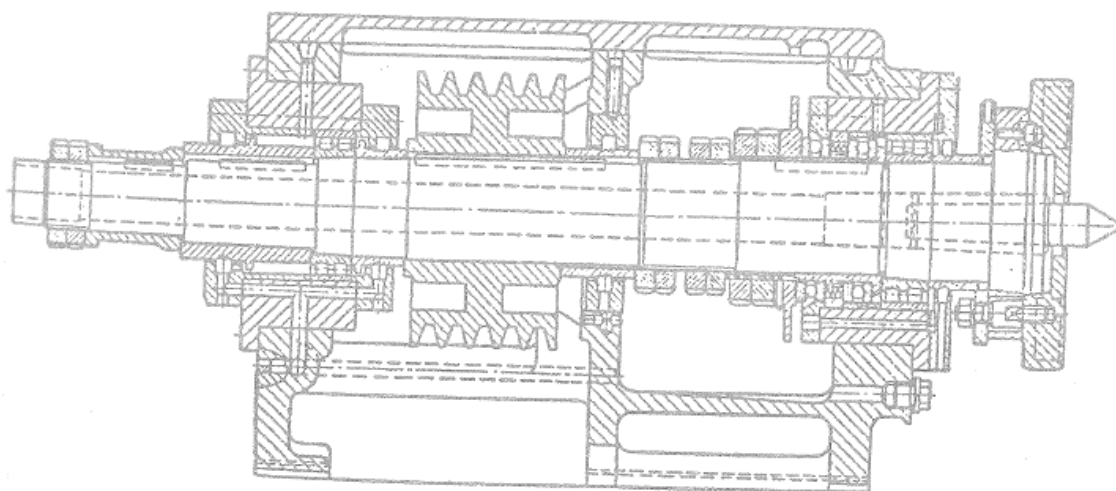
Слика 5.11. Шема улежиштења вратила: а) на два ослонца, б) на три ослонца [1]

5.7.1. Улежиштења главних вратила помоћу котрљајних лежишта

Лежишта која се примењују у вретеништима алатних машина морају да задовоље низ специфичних захтева у које спадају између осталог захтеви за тачност, крутост, век трајања, као и специјални захтеви који произилазе из услова рада склопа главног вратила и целе машине. Осим високе тачности, од котрљајних лежишта се очекује повећана радијална и аксијална крутост, носивост у радијалном и аксијалном правцу, брзоходност, мање генерисање топлоте и мале температурске деформације. У зависности од машине и захтева који се пред њу постављају примењују се лежишта: повишене, посебно повишене, високе, веома високе, прецизне, веома прецизне и врхунско прецизне класе тачности [1].

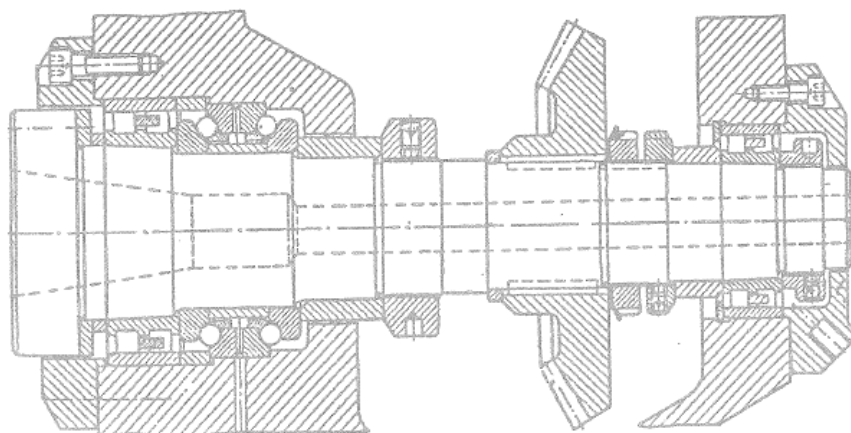
Постоји велики број различитих типова улежиштења у зависности од конструкције, оптерећења и осталих захтева који се постављају пред главно вратило и машину. Најчешће коришћени типови су: радијални и радиаксијални, једнореди и двореди, са куглицама, цилиндрима, конусима, иглицама, бурићима, са цилиндричним или конусним отвором у средини.

На (слици 5.12.) представљена је конструкција улежиштења једног универзалног струга, код кога су, као радијална лежишта, и у предњем и у задњем ослопцу коришћена двореди цилиндрична лежишта са кратким ролницама. Помоћу дугачке дистантне чауре, ослоњене са десне стране на унутрашњи прстен лежишта, а са друге стране оптерећене навртком и контранавртком изводи се предоптерећење.



Слика 5.12. Улежиштење главног вратила универзалног струга са радијалним и аксијалним лежиштима [1]

Код улежиштења главних вратила глодалица, за примање аксијалног оптерећења су, уместо пара аксијалних кугличних лежишта, примењена аксијално - радијална лежишта (слика 5.13.). У задњем ослопцу је примењено дворедо радијално лежиште са кратким ролницама и конусним отвором.



Слика 5.13. Главно вратило хоризонталне глодалице са аксијално - радијалним лежиштима [1]

Упоредне карактеристике основних типова котрљајућих лежишта, примењиваних за улежиштење главних вратила алатних машина дате су у (табели 5.3.).

Тип лежишта	Тачност обртања	Крутост радијална	Крутост аксијална	Носивост при обртању	Статичка носивост	Дозвољена брзоходост	Лакоћа хода	Радна способност при умереном искошењу	Способност примања комбиновано напрезање
Куглично радијално једноредо	5	3	2	3	3	4	4	3	3
Куглично радиаксијално	5	3	3	3	3	5	4	3	4
Куглично аксијално	4	0	5	4	4	3	4	2	0
Цилиндрично радијално са кратким цилиндричним ролницама	5	5	0	5	5	4	5	1	0
Једноредо радиаксијално лежиште са коничним ролницама	5	5	4	5	5	3	2	2	5
Радијално игличасто лежиште	4	5	0	5	4	2	2	1	0

Табела 5.3. Упоредне карактеристике основних типова лежишта [1]

5.7.1.1. Конструкција ослонаца главних вратила

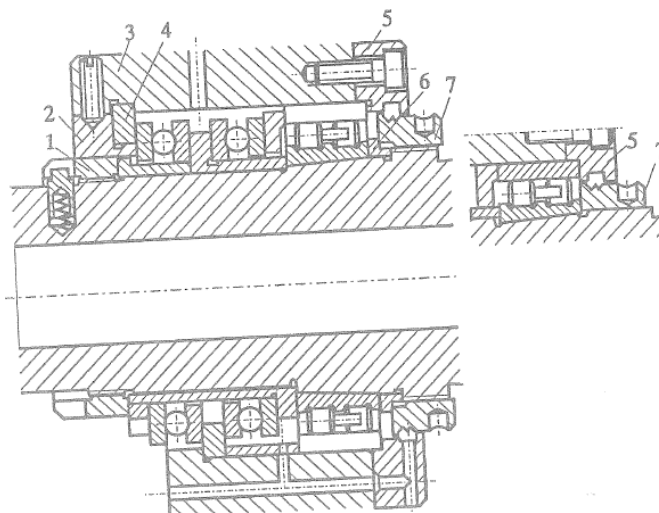
Вретеништа са котрљајућим лежиштима требају бити тако пројектована да задрже тачност и крутост лежишта и после подешавања величине зазора у

лежиштима и да се остваривање задате тачности постигне на што је могуће једноставнији и поузданији начин.

За базну површину на коју се поставља лежиште коничан рукавац вратила не представља добро решење. Поред тога он не обезбеђује довољно тачну саосност осе отвора лежишта са осом вратила. Оваква лежишта се не базирају само по коничној површини, већ и по једној од чеоних површина, што може бити остварено на два начина:

- 1) притезањем унутрашњег прстена лежишта до ослонаца на челу дистантне чауре (6) (слика 5.14.) и
- 2) постављањем дугачке чауре између чеоних површина навртке за подешавање и унутрашњег прстена лежишта са преклопним спојем.

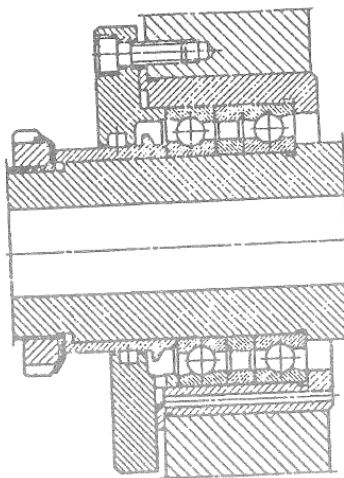
У конструкцији приказаној на (слици 5.14.) аксијални зазор аксијалних лежишта регулише се прстенастим улошком одговарајуће дебљине, постављањем између чеоне површине прирубнице (5) и кућишта (3). Две кратке чауре, по којима се базирају аксијална лежишта постављене су између радијалног лежишта и његове регулационе навртке. Чеона површина дистантног прстена (6) је израђена из два дела, убачених у одговарајући отвор навртке (7). Она представља ослону површину радијалног лежишта. Спољашњи прстен радијалног лежишта се убацује у отвор (3), који је израђен без испуста, што омогућава његову прецизну завршну обраду хоновањем. Чеона површина два полупрстена (4) служи као ослонац за аксијално лежиште. Они су убачени у отвор на телу и фиксирани су помоћу навртке (2). Зазор - предоптерећење се подешава помоћу навртки (1) и (7).



Слика 5.14. Постављање котрљајућих лежишта у предњем ослонцу главног вратила струга [1]

У зависности од степена оптерећења вратила, у задњем ослонцу се могу применити куглична лежишта (слика 5.15.) или лежишта са ролницама. Код захтева за високом тачношћу, аксијална лежишта треба поставити на предњем делу вратила. А код брзоходних вретеништа, у циљу смањења пречника

аксијалних лежишта, лежишта која примају аксијална оптерећења се постављају у задњем ослонцу.



Слика 5.15. Задњи ослонац главног вратила струга [1]

5.7.2. Улежиштења главних вратила помоћу клизних лежишта

Код старијих модела машина веома често је била присутна примена клизних лежишта при улежиштењу главних вратила, посебно када су у питању била радијална лежишта. Поред радијалних лежишта честу примену су налазила и аксијална котрљајућа лежишта. У новије време клизна лежишта се примењују углавном код тежих машина и машина које раде са високим бројевима обртаја. Ту спадају разне врсте брусилца и машине за обраду дијамантским алатима.

Према врсти подмазивања, клизна лежишта могу бити [1]:

- 1) хидродинамичка,
- 2) хидростатичка и
- 3) аеростатичка.

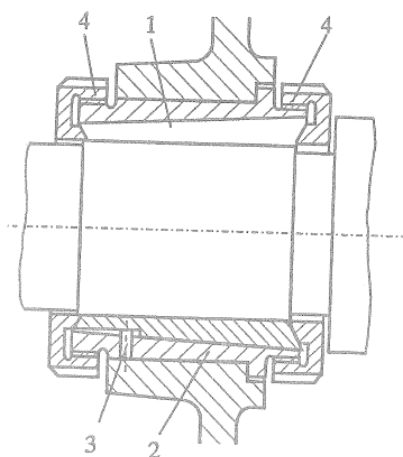
5.7.2.1. Улежиштења помоћу хидродинамичких клизних лежишта

Хидродинамичка лежишта су лежишта која су најједноставнија за употребу. Будући да се веома ретко могу остварити услови који гарантују потпуно течно трење ова клизна лежишта раде углавном у условима граничног трења. Основу конструкције ових лежишта чини лежишна чаура која је израђена изједна или из делова. Она се поставља или директно у отвор на кућишту вретеништа или у своје кућиште.

Са становишта могућности регулисања зазора између рукавца и лежишне чауре разликују се хидродинамичка лежишта [1]:

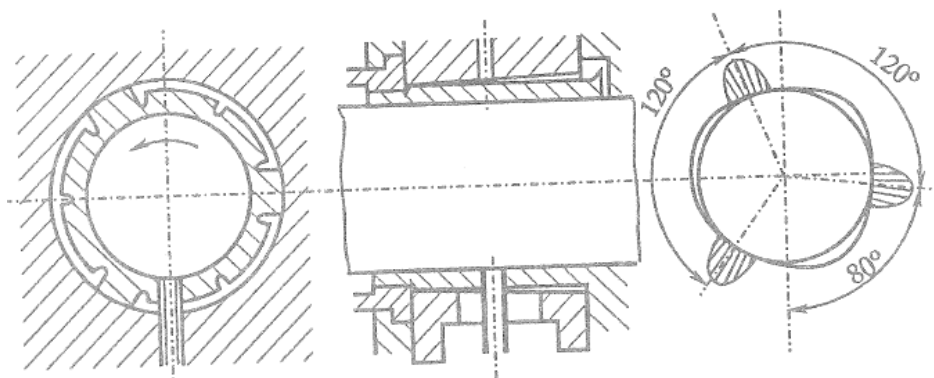
- 1) без регулисања,
- 2) са радијалним регулисањем и
- 3) аксијалним регулисањем зазора

Понекад при изради и обради конусног отвора долази до одређених тешкоћа тако да се лежишна чаура не може монтирати у кућиште. У таквим случајевима оваквим конструкцијама се додаје још једна чаура, са цилиндричном спољашњом површином и унутрашњим конусним отвором у који се убацује лежишна чаура (слика 5.16.). Помоћу навртке (4) помера се лежишна чаура (1) аксијално у односу на спољашњу чауру (2), остварујући ефекат деформисања унутрашњег лежишног отвора. Да би се спречило међусобно релативно заокретање чаура приликом завртања и одвртања навртке, у систем је уграђена чивија (3). Она је убачена у одговарајући канал у лежишној чаури. Да не би дошло до самоодвртања навртке у току рада, примењују се навртке са блокирањем.



Слика 5.16. Хидродинамичко клизно лежиште са расеченом чауром [1]

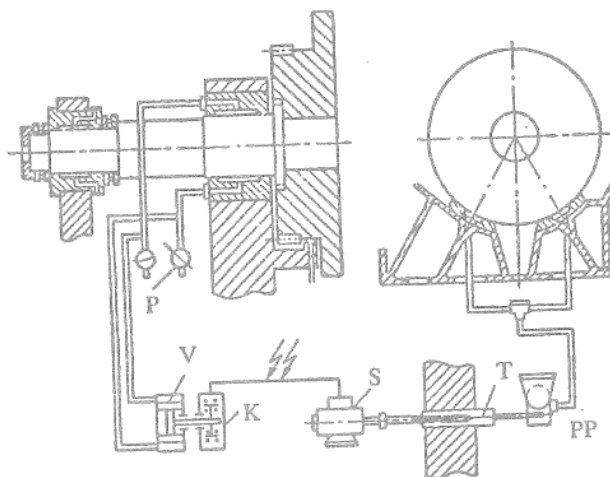
Конструкција хидродинамичког лежишта са нерасеченом чауром (слика 5.17.) по свом спољашњем обиму има три ребра са конусним спољашњим површинама, који се ослањају на конусну површину отвора у који се чаура убацује. Ове ослоне конусне површине могу бити уграђене непосредно у кућиште или у посебну спољашњу чауру. Зидови лежишне чауре су мање дебљине и испресецани су уздужним каналима у циљу лакшег деформисања чауре. Код овог типа лежишта, услед деформисања унутрашњег отвора, јављају се три површине клизања.



Слика 5.17. Хидродинамичко клизно лежиште са нерасеченом чауром [1]

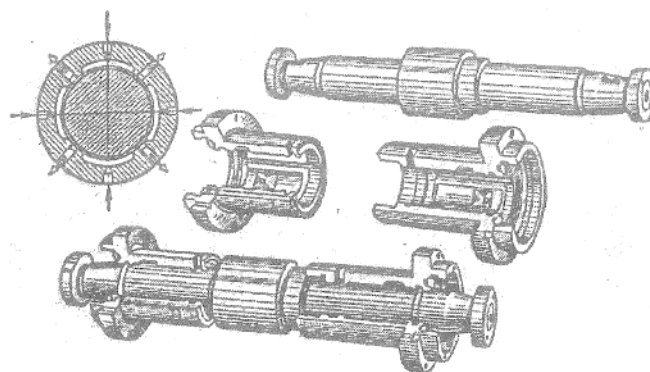
5.7.2.2. Улежиштења помоћу хидростатичких клизних лежишта

Хидростатичка лежишта се примењују у вретенишним склоповима алатних машина различитих типова и величина. Код улежиштења главног вратила чеоног струга хидростатичким лежиштима, хидростатичка лежишта су примењена како у оба ослонца вратила, тако и код линете која придржава стезну главу („планшајбну“) (слика 5.18.). Преко одвојених пумпи P остварује се довод уља у сваку од носећих комора. Разводни вентил V је повезан са коморама лежишта предњег ослонца клип разводника пребацује контакт граничног прекидача K , који даље укључује сервомотор S . Преко овог сервомотора се обавља проток уља пумпе променљивог капацитета PP . Ова пумпа служи за напајање носећих комора лежишта линете. Постављањем тежег предмета обраде у стезну главу при повећању притиска у доњој комори, сервомотор преко завојне полуге T повећава капацитет пумпе PP .



Слика 5.18. Шема примене радијалних хидростатичких лежишта за улежиштење вратила тешког чеоног струга [1]

Улежиштење и пресек главног вратила брусилице фирме *Gandron* (слика 5.19.) код које су оба ослонца изведена са хидростатичким лежиштима обезбеђује високи квалитет обрађених делова.



Слика 5.19. Шема и конструктивно извођење улежиштења вратила брусилице [1]

6. Конструктивни облици главних вратила

Веома често (ако не и увек) габарити главних вратила тј. основне димензије више зависе од конструкционих захтева и њиховог прилагођавања него од напрезања којима су она изложена. Облик главног вратила (пуних или шупљих) треба да обезбеди прецизно и тачно причвршћавање стезног алата или предмета обраде, или самог резног алата. При томе конструктивни облик радног краја главног вратила, тј. места где се поставља прибор или алат, зависи од врсте и намене саме машине и зове се глава вратила.

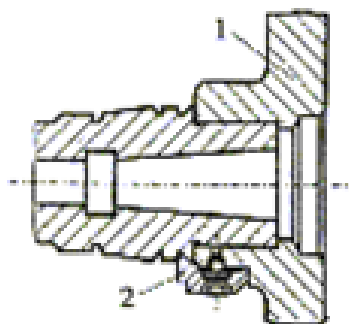
Типови глава вратила [1]:

- 1) код стругова,
- 2) код бушилица,
- 3) код глодалица,
- 4) код брусилица и
- 5) специфичне главе вратила.

6.1. Главе вратила код стругова

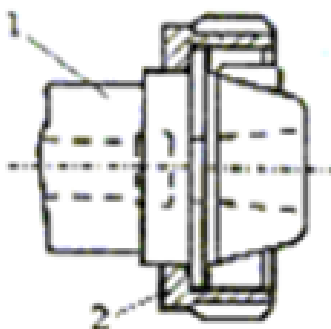
Најчешћи видови глава вратила код струга:

1) Глава вратила је заступљена код универзалних, али и осталих стругова. Прибор се састоји из прирубнице (1), навијене на навој завршетка вратила, при чему се на њој за позиционирање користи леви део цилиндричне површине без навоја. Одвијање стезне главе спречава фиксирајући елемент (2) (слика 6.1.).



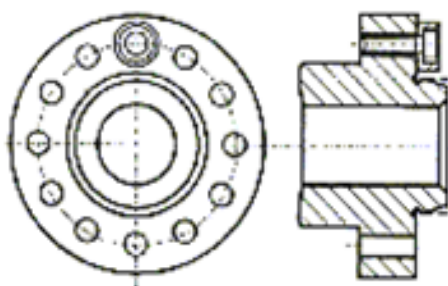
Слика 6.1. Глава вратила која се користи код универзалних стругова [1]

2) Глава вратила поседује већу крутост и тачност позиционирања услед базирања прибора на продуженом коничном крају вратила (1) и стезањем насадном навртком (2), чијим притезањем се остварује аксијална сила на стезач, а услед ње и нормална сила између конусних контактних површина, остварујући посебну крутост и тачност (слика 6.2.).



Слика 6.2. Глава вратила струга са продуженим коничним крајем (1) и насадном навртком (2) [1]

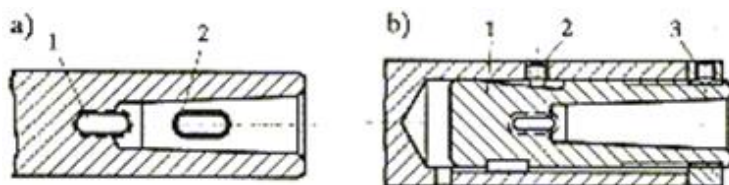
3) Глава вратила у облику прирубнице са одговарајућим делом за центрирање (слика 6.3.) поседује највећу крутост уз високу тачност центрирања.



Слика 6.3. Глава вратила струга у облику прирубнице [1]

6.2. Главе вратила код бушилица

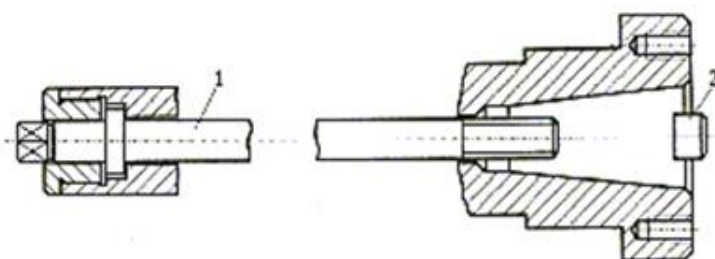
Стезни делови алата за бушење и осталих алата за обраду отвора могу бити цилиндричног или коничног облика код којих је угао мањи од угла трења. Код цилиндричног облика дршке алата, алати се постављају у специјални стезач са конусним завршетком. Глава вратила има идентичан конус преко кога се врши позиционирање и веза алат - глава вратила где је због поменутог угла конуса онемогућено испадање алата (слика 6.4.а). У дну коничног отвора главе је изражен елипсасти попречни канал (1) који у спрези са правоугаоним завршетком конуса дршке алата остварује пренос обртног момента. За расклињавање ове везе служи попречни елиптични отвор (2), кроз који се клином избацује алат. За вишеверетене и агрегатне машине главе вратила имају цилиндричан отвор у који се убацују редукционе чауре (1), са коничним отвором за алат (слика 6.4.б). Помоћу навртке (3) и навоја урезаног на чаури врши се аксијално померање чауре, а фиксирање се врши завртњем (2). Пренос обртног момента са вратила на чауру се изводи аксијалним клином.



Слика 6.4. Облици завршетка главних вратила бушилице [1]

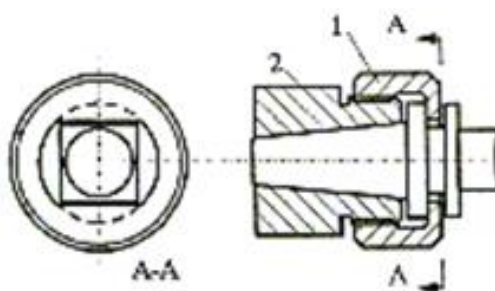
6.3. Главе вратила код глодалица

Код глодалица се најчешће користе две конструкције глава вратила (слика 6.5.). Било да је реч о осовини на коју се поставља глодало са отвором, стезач за глодала са цилиндричном дршком или конична дршка већих глодала, стезање и позиционирање се врши унутрашњим стрмим (ISO) конусом чији је угао већи од угла трења па не долази до уклињавања. Услед аксијалне силе стезање се врши дугим завртњем (1) зато што постоји могућност извлачења алата из главе. Због тога је главно вратило шупље. Кад су у питању мањи обртни моменти може се користити оваква веза, међутим при већим режимима рада уводе се на крају главе два клина (2) који улазе у четвртасте жлебове на плочастом делу алата или носача алата.



Слика 6.5. Уобичајена конструкција завршетка главног вратила глодалице [1]

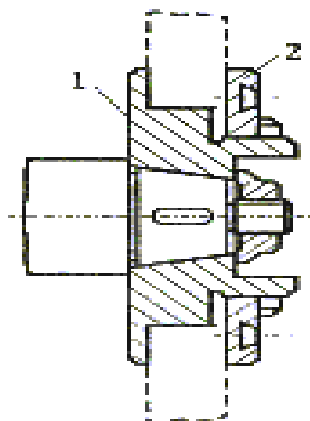
Код глодала мањих димензија и сила резања глава вратила може имати Морзе конус (слика 6.6.). Преко овог конуса, навртке (1) и навоја (2) врши се притезање алата. То се остварује када се завија навртка и када се силом делује преко левог прстена дршке алата, а отпушта при њеном одвијању силом делујући на десни прстен дршке.



Слика 6.6. Облик завршетка главног вратила мањих димензија са Морзе конусом [1]

6.4. Главе вратила код брусаница

Када су у питању главе вратила код брусаница (слика 6.7.), глава вратила је у облику конуса без обзира да ли је у питању брусница за спољашње округло или равно брушење. На главу вратила се позиционира и помоћу стезне навртке фиксира носач (1) брусне плоче. Брусна плоча се стеже помоћу прстена (2) и одговарајуће навртке.



Слика 6.7. Облик завршетка главе вратила бруснице [1]

6.5. Специфичне главе вратила

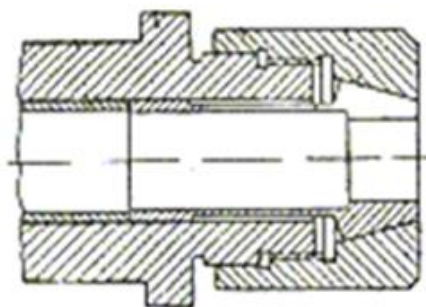
Када се говори о специфичним главама вратила углавном се подразумевају специфични стезни прибори чијом се уградњом код неких алатних машина битно утиче на облик, димензије и механичке особине главног вратила, тј. глава вратила.

Постоје две основне групе ових прибора [1]:

1. механизми за стезање помоћу расечене чауре и
2. механизми за аутоматско стезање.

6.5.1. Механизми за стезање помоћу расечене чауре

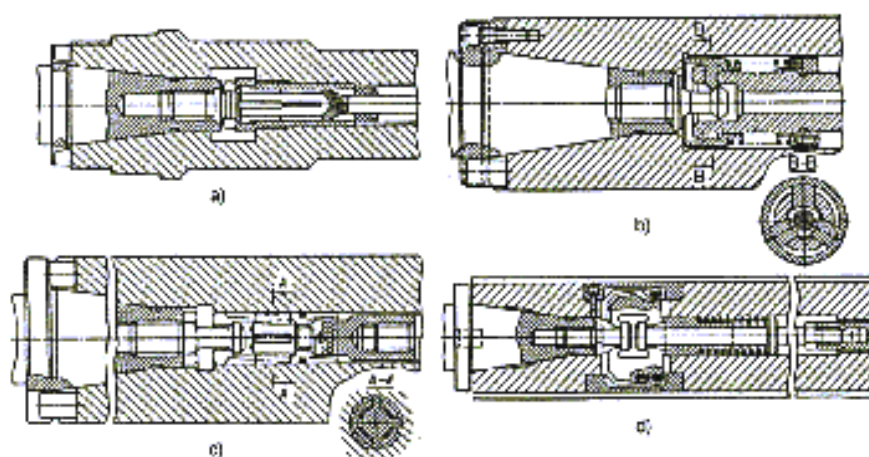
Циљ примене ових механизма (слика 6.8.) је аутоматизација неких алатних машина (револвер и универзалних стругова, стругарских аутомата) која се огледа у искоришћењу шупљине главног вратила за њихову уградњу и остварење брзог стезања комада.



Слика 6.8. Механизам са расеченом чауром [1]

6.5.2. Механизми за аутоматско стезање

Код прибора за аутоматско стезање (слика 6.9) резног алата (носача алата) при обради чеоним глодањем и при обради већих отвора потребне су веће силе стезања. Самим тим конструкција ових прибора, као и конструкција глава вратила треба бити изведена тако да се силе стезања не преносе на лежишта главног вратила. Тада се примењује „пливајуће стезање“.



Слика 6.9. Главна вретена са аутоматским прибором за стезање [1]

6.6. Стандардне препоруке конструктивних облика главе вратила

Глава вратила представља завршетак главног вратила стандардног облика и мере преко ког се остварује веза вратила са дршком алата, односно преко прибора са обратком (код стругова). Облици и мере глава вратила су стандардизовани са циљем да се обезбеди компатибилност машине и алата.

Најчешће примењивани облици и мере глава вратила: [11]

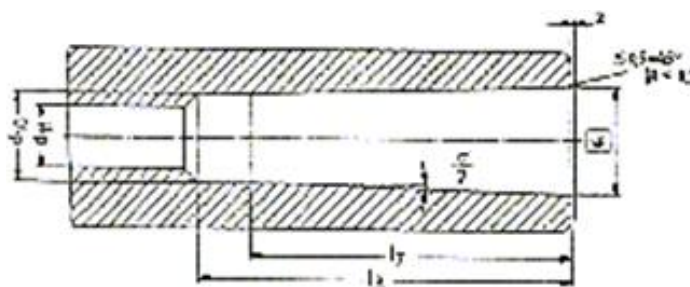
1. главе вратила са Морзе и Метричким конусом (DIN 228, JUS M.G0.051, ISO .2.9.6),
2. главе вратила са конусом 7/24 (DIN 2079, JUS M.G0.720, ISO.2.9.7),
3. главе вратила са центрирајућим конусом и прирубницом (DIN 55026, 55027, 55028, 55029, ISO 702/I, II, III)

6.6.1. Главе вратила са Морзе и Метричким конусом

Главе вратила са овим конусима се примењују код бушилица, мањих вертикалних глодалица и алатних глодалаца. Такође се примењују за главна вратила вертикалних глава универзалних глодалица. Морзе или Метрички конуси се налазе на предњем крају унутрашње контуре главних вратила стругова и у пиноли задњег шиљка. Стандардном DIN 228/2 прописани су облици и мере ових унутрашњих конуса (табела 6.1.).

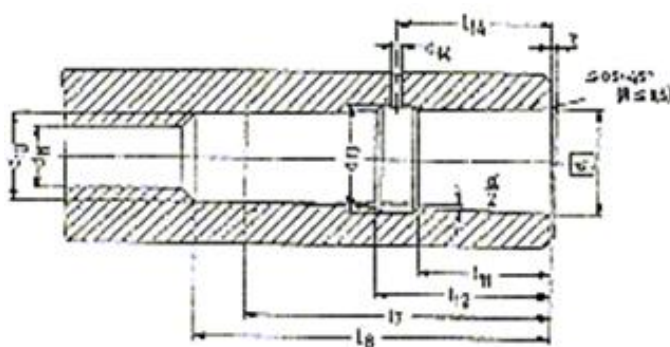
Постоје четири основна облика:

1) облик С – унутрашњи конус за дршке са потезањем преко навоја у дршци (слика 6.10.),



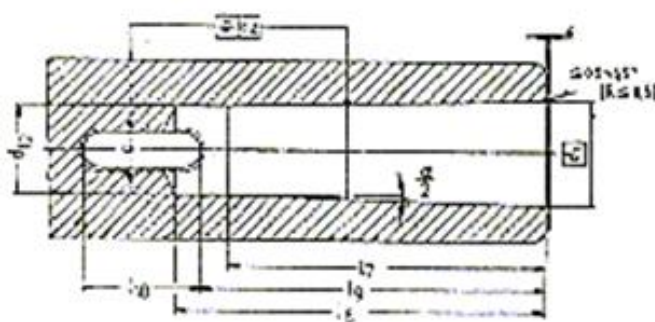
Слика 6.10. Унутрашњи конус облика С [12]

2) облик СК – унутрашњи конус за дршке са потезањем преко навоја у дршци и са довођењем SHP кроз дршки (слика 6.11.),



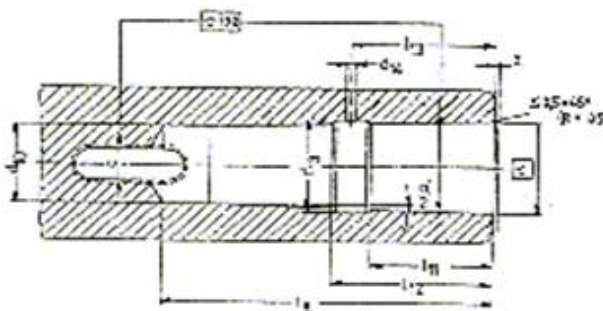
Слика 6.11. Унутрашњи конус облика СК [12]

3) облик D - унутрашњи конус за дршке са ушицом (слика 6.12.),



Слика 6.12. Унутрашњи конус облика D [12]

4) облик DK - унутрашњи конус дршке са ушицом и довођењем SHP кроз дршку (слика 6.13.).



Слика 6.13. Унутрашњи конус облика DK [12]

	Унутрашњи метрички конуси облика С		Унутрашњи Морзе конуси облика С, D, СК, DK						
Величина	4	6	0	1	2	3	4	5	6
с A13	2,2	3,2	3,9	5,2	6,3	7,9	11,9	15,9	19
d ₁	4	6	9,045	12,065	17,78	23,825	31,267	44,399	63,348
d ₁₀ H11	3	4,6	6,7	9,7	14,9	20,2	26,5	38,2	54,8
d ₁₁	-	-	-	7	11,5	14	18	23	27
d ₁₃	-	-	-	13,5	19,5	24,5	32	44	63
d ₁₄	-	-	-	-	4,2	5,0	6,8	8,5	10,2
l ₇	20	28	45	47	58	72	92	118	164
l ₈ min.	25	34	52	56	67	84	107	135	188
l ₉	21	29	49	52	62	78	98	125	177
l ₁₀	8	12	15	19	22	27	32	38	47
l ₁₁	-	-	-	-	22	31	41	53	83
z ¹)	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1
α/2	1°25'56"		1°29'27"	1°25'43"	1°25'50"	1°26'16"	1°29'15"	1°30'26"	1°29'36"
Метрички унутрашњи конуси облика С, D									
Величина	80	100		120	(140)	160	(180)		200
с A13	26	32		38	44	50	56		62
d ₁	80	100		120	140	160	180		200
d ₁₀ H11	71,5	90		108,5	127	145,5	164		182,5
d ₁₁	33	39		39	39	52	52		52
l ₇	170	200		230	260	290	320		350
l ₈ min.	202	240		276	312	350	388		424
l ₉	52	60		70	80	90	100		110
z ¹)	1,5	1,5		1,5	2	2	2		2
α/2	1°25'56"								

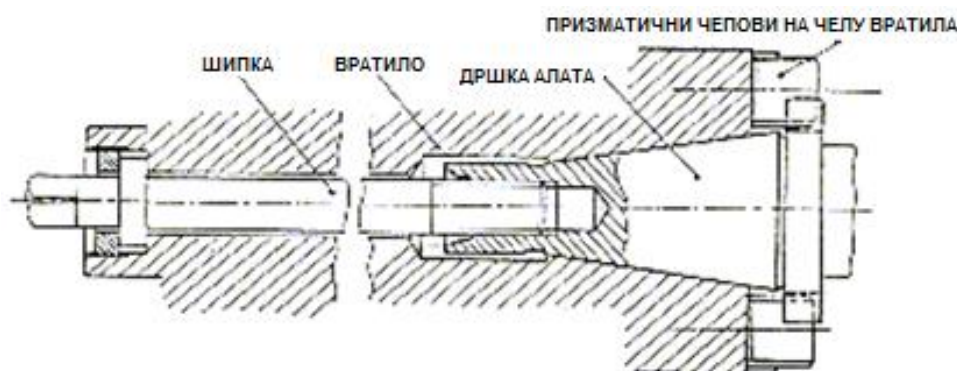
Табела 6.1. Основне мере Морзе и Метричких конуса DIN 228/2 [12]

6.6.2. Главе вратила са конусом 7/24 – ISO конус

Унутрашњи стрми конус 7/24 (тзв. ISO - конус) у глави вратила примењује се код хоризонталних и универзалних глодалица кад су у питању конвенционалне машине и код CNC - вертикалне глодалице. Положај алата у вратила се остварује преко конуса у глави и конусне дршке алата. Будући да ова веза није самокочива стезање се остварује аксијалним повлачењем дршке алата у конус вратила. Додатни елементи на глави који залазе у два радијална жлеба на дршци алата спречавају релативно обртање алата и вратила. Стандардном DIN 2079 прописане су мере глава вретена са 7/24 конусом (табела 6.2.).

Задржавање дршке алата у конусу вратила изводи се на два начина:

1) шипком, кроз проврт вратила, са навојним завршетком који улази у навојну рупу на дршци алата. Притезање се врши кључем са задње стране главног вратила (слика 6.14.)



Слика 6.14. Задржавање дршке алата у конусу вратила помоћу шипке [12]

2) еластичном чауром, која стеже цилиндрични део потезног вијка (DIN 69872) уврнутог у крај дршке алата. Стезање чауре се остварује преко шипке и пакета тањирастих опруга у шупљини главног вратила, а отпуштање се врши хидраулички (слика 6.15.).



Слика 6.15. Задржавање дршке алата у конусу вратила помоћу еластичне чауре [12]

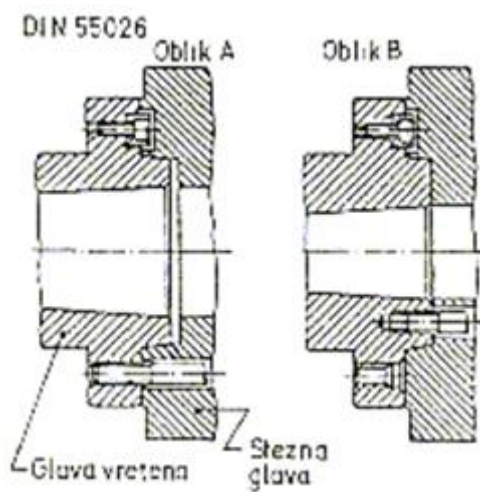
Називна величина конуса		30	40	45	50	55	60
$b_1 M6$		15,9	15,9	19	25,4	25,4	25,4
$c_0^{0,2}$		8	8	9,2	12,5	12,5	12,5
d_1		31,75	44,45	57,15	69,85	88,9	107,95
$d_2 h5$		69,832	88,882	101,6	128,57	152,4	221,44
$d_3 min.$		17,4	25,3	32,4	39,6	50,4	60,2
$d_4 min.$		17	17	21	27	27	35
d_5		M 10	M 12	M 12	M 16	M 20	M 20
d_6		M 6	M 6	M 8	M 12	M 12	M 12
$e \pm 0,2$		20	33	40	49,5	61,5	84
f		54	66,7	80	101,6	120,6	177,8
$l_1 min.$		73	100	120	140	178	220
$l_2 min.$		16	20	20	25	30	30
l_3		9	9	12	18	18	18
l_4		47,4	64,4	81,8	100,8	125,8	160,8
$m min.$		12,5	16	18	19	25	38
n - Облик А		8	8	9,5	12,5	12,5	12,5
n - Облик С		16,5	16,5	16,5	16,5	-	-
p		2	2	2	3	3	3
$r max.$		1,6	1,6	1,6	2	2	2
t		0,06	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08
Облик А	$u_1 min.$	16,5	23	30	36	48	61
Облик С	$u_2 min.$	16,7	23,3	29,8	36,2	-	-
	$u_3 min.$	19,3	25,5	32	38,4	-	-
x		0,15	0,15	0,15	0,2	0,2	0,2

Табела 6.2. Мере глава вретена са 7/24 конусом према DIN 2079 [12]

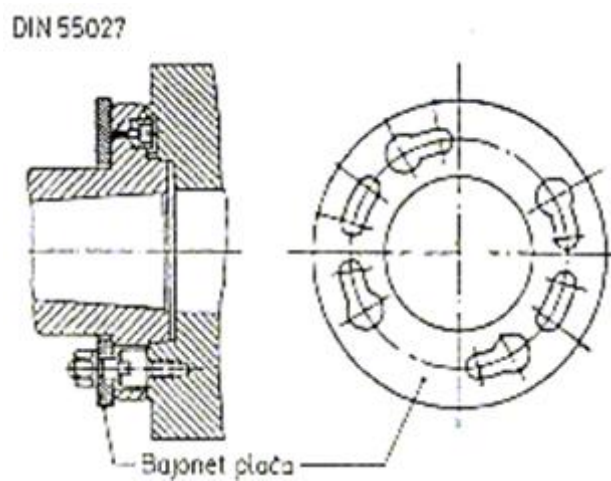
6.6.3. Главе вратила са спољашњим центрирајућим конусом и прирубницом

Стезне главе (са ручним или принудним стезањем) стругова, као и склопови стезача са еластичним чаурама, везују се за главно вратило преко његове главе коју чине спољашњи конус и прирубница. Серијом DIN стандарда дефинисани су облици глава вратила, стругова и пратећих елемената за три начина стезања:

1. DIN 55026 – стезање вијцима за прирубницу – облик А (слика 6.16.),
2. стезање вијцима за чело вратила – облик В (слика 6.16.) и
3. DIN 55027 – стезање помоћу бајонет плоче (слика 6.17.).



Слика 6.16. Стезање вијцима за прирубницу и чело вратила [12]



Слика 6.17. Стезање помоћу бајонет плоче [12]

Стандардом DIN 55026 прописане су мере глава вратила стругова (табела 6.3.)

Називна величина	3	4	5	6	8	11	15	20	25
d_1	92	108	133	165	210	280	380	520	725
d_2	max.	53,983	63,521	82,573	106,385	139,731	196,883	285,791	412,795
	min.	53,975	63,513	82,563	106,375	139,719	196,869	285,775	412,775
$d_3 \text{ min.}$	53,5	63	82	106	139	196	285	412	583
d_4	70,6	82,6	104,8	133,4	171,4	235	330,2	463,6	647,6
d_5	-	-	61,9	82,6	111,1	165,1	247,6	368,3	530,2
d_6	11	11	11	14	18	22	26	26	33
d_7	M 10	M 10	M 10	M 12	M 16	M 20	M 24	M 24	M 30
d_8	-	M 6	M 6	M 8	M 8	M 10	M 12	M 12	M 12
$d_9 H8$	-	14,25	15,9	19,05	23,8	28,6	34,9	41,3	50,8
f	2	3	4	5	5	6	7	9	12
g	1	1	1	1	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
h_2	-	5	5	5	6	8	8	8	8
h_3	max.	-	-	14,288	15,875	17,462	19,050	20,638	22,225
	min.	-	-	14,263	15,850	17,437	19,025	20,613	22,200
$l_2 \text{ max.}$	11	11	13	14	16	18	19	21	24
l_3	-	-	25	29	36	44	51	51	63
$l_4 \text{ min.}$	-	-	17	20	26	32	38	38	48
p^5	1	1	1	1,6	1,6	1,6	2	2	2
t_1	1,5	1,5	1,5	2	2	2	2,5	2,5	2,5
t_2	-	5	6	8	10	12	12	16	20
$w \text{ und } x$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
Вијци DIN 912 Класа 10.9	-	M6X16	M6X16	M8X20	M8X20	M10X25	M12X25	M12X30	M12X30

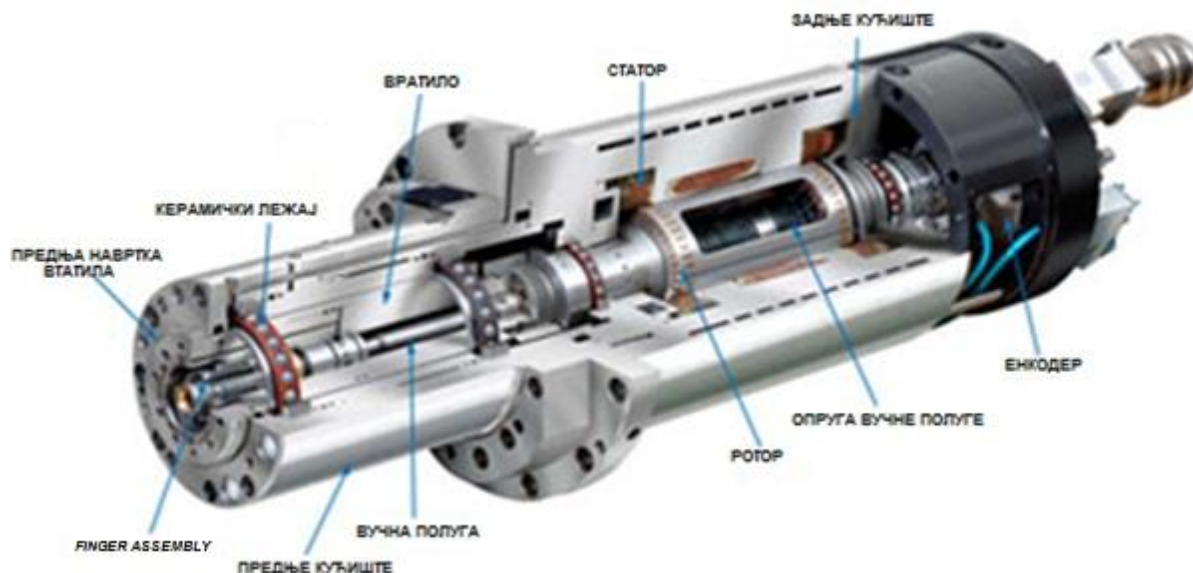
Табела 6.3. Мере глава вратила стругова према DIN55026 [12]

7. Вратила код CNC машина

Током година вратила CNC машина су се развила у високо напредна технолошка решења у кључним операцијама. Обично, она се користе за операције као што су глодање, бушење, брушење, сечење, тестерисање и др. Служе као "срце" машине и вратила су тако пројектована да омогуће висок ниво брзине, тачности и прецизности. На крају крајева, она представљају комплексне системе десетине компоненти које утичу на перформансе CNC машина.

7.1. Чести узроци отказа вратила

Хабање компоненти вратила је узрок отказа који се очекује током времена. У компоненте које омогућавају несметан рад вратила спадају; предња навртка вратила, керамички лежајеви, статор, ротор, енкодер, предње и задње кућиште, вучна полуга, опруга вучне полуге и *Finger Assembly* (слика 7.1). Ако било која од ових компоненти покаже знакове хабања или оштећења, компоненту треба поправити или заменити. Неправилно подмазивање може повећати хабање стварајући прекомерну топлоту, већу од радне температуре. Ово може ограничити брзину и снагу, а смањити енергетску ефикасност. Мазиво увек треба да буде високог квалитета, чисто и без влаге или других загађивача. Неправилно руковање је чест узрок отказа. Вратилима треба правилно руковати и омогућити да буду заштићена од вибрација и других потенцијално штетних утицаја који могу онемогућити опрему да обавља производну операцију како треба.



Слика 7.1. Компоненте CNC вратила [7]

7.2. Продужење века трајања вретена

Оператери који раде на CNC машинама морају се придржавати правилног руковања и на тај начин продужити век трајања вратила.

Нпр, држачи алата треба увек да буду правилно уравнотежени. Када држач алата ротира у току неке операције, неравнотежа за предење компоненте ствара центрифугалне силе и на тај начин се повећава експоненцијално са брзином. Како се повећава снага, претерана и потенцијално велика вибрација ће уследити и довести до тешкоћа у одржавању блиске толеранције. Узрок неравнотеже може бити садржан у његовом дизајну, тј. држач алата можда није правилно уравнотежен од почетка, односно држач алат је можда оштећен или модификован од стране крајњег корисника.

Израчунавање "толеранције равнотеже" може да обезбеди прихватљив опсег за рад. Овај процес означава намењену радну брзину, а затим одређује максимално дозвољену неравнотежу у оквиру брзине параметра. Балансирањем у оквиру "толеранција" опсега може помоћи да се избегну проблеми и да се на тај начин повећају перформансе вратила и тачност.

Вибрације треба да буду унутар нормалних параметара. Прекомерне вибрације често указују на проблем и вратила, ако је то случај, треба да се прегледају.

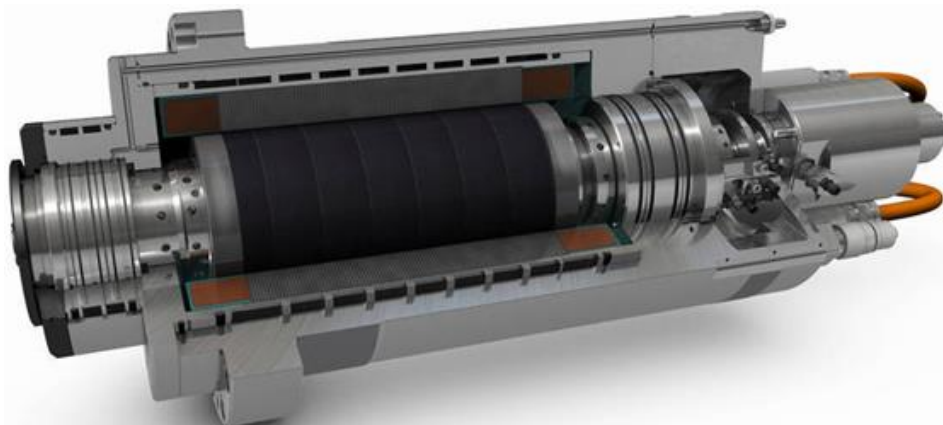
Оператери треба да уложе све напоре да заштите вратила са расхладном течностју. Расхладна течност треба да буде усмерена на алат и далеко од осовине. Праћење радне температуре осовине представља рани знак упозорења лоших ствари које долазе. Једном када се установи нормална радна температура, она може бити од помоћи за снимање основне температуре за предње и задње осовине лежишта ради поређења.

7.3. *Siemens* вратила

Са својим широким спектром у производној линији, са моторизованим или одвојеним погоном вратила, изграђен у великим обртним моментима или високим брзинама примене, *Siemens* је лидер у пружању стандардних или прилагођених решења за машине алатке *OEM* и крајњим корисницима подједнако.

Siemens је једина компанија која има у својој понуди вратила разних типова, било стандардних било прилагођених дизајна и са одвојеним погоном вратила (слика 7.2.).

Велика предност ових вратила је у томе што су све функције уграђене у једном компактном кертриџу или блоку, тако да пројектан користећи ова вратила добија већу флексибилност, мање простора и већи степен успешности. Будући да користе синхроне моторе, ова вретена поседују велику ефикасност, покривају шире брзине, снаге и обртни момент.



Слика 7.2. Тип Siemens вратила [8]

Ова вратила су у великој мери тражена на тржишту, посебно међу азијским градитељима. Погодна су за све врсте обраде, као што су бушење, глодање, стругање и брушење. Вратила се бирају на основу примене потрошача према брзине, снаге и обртног момента.

7.4. SPS вратила

Вратило које налази широку примену у обрадним центрима је SPS вратило (слика 7.3.). Употребом овог вратила добија се висок квалитет прецизности CNC машине и повећава се производна способност.



Слика 7.3. SPS вратило [9]

7.5. Безбедност система вратила

Упркос тренутним CNC машинама стратегија заштите од несреће која укључује и проактивно избегавање кроз CAD/CAM програмирање и реактивне методе смањење штете које укључују електронске сензоре и механичка квачила преоптерећења, незгоде су још увек уобичајена појава. У овим машинама приликом рада, алат изазива одређене сударе који апсорбују високе снаге на моторна вретена. У зависности од интензитета судара, штета може довести до

квара или непосредно смањења животног века компоненти машине као што су вратила лежајева, што доводи до превременог отказа. Оштећења вратила су уобичајена, а трошкови за поправку или замену алата вратила машине, као и губитак продуктивности кроз паузе могу да коштају и десетине хиљада долара.

Безбедносни систем вретена *Gam* (слика 7.4.) пружа заштиту од превременог отказа.



Слика 7.4. *Gam* вратило [10]

Када код ових алатних машина дође до горе споменутих судара алата, сигурносни систем вретена одмах искључује пренос снаге на граници између механизма за обртање и вретена мотора кроз 3D премештање. Због тога су осетљиве компоненте мотора вретена, а посебно лежајеви вретена заштићени од утицаја *Peak* снага судара алата преко одређених амортизера (слика 7.5.) који умањују утицај судара алата.



Слика 7.5. Заштита компоненти *Gam* вратила [10]

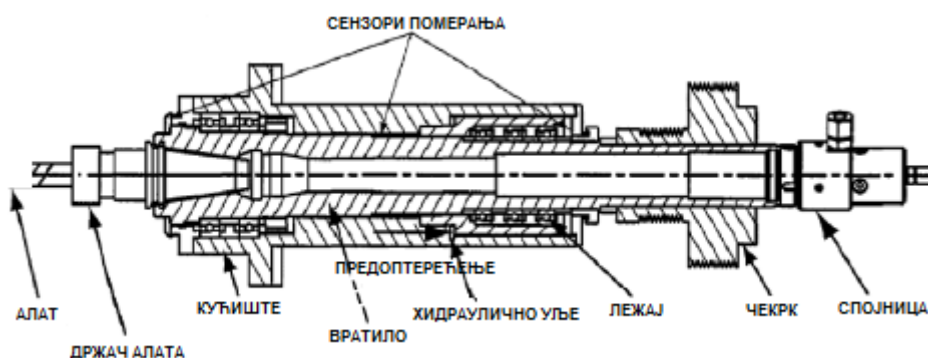
Предности:

- 1) нема екстерних извора напајања,
- 2) високо одржање снаге,

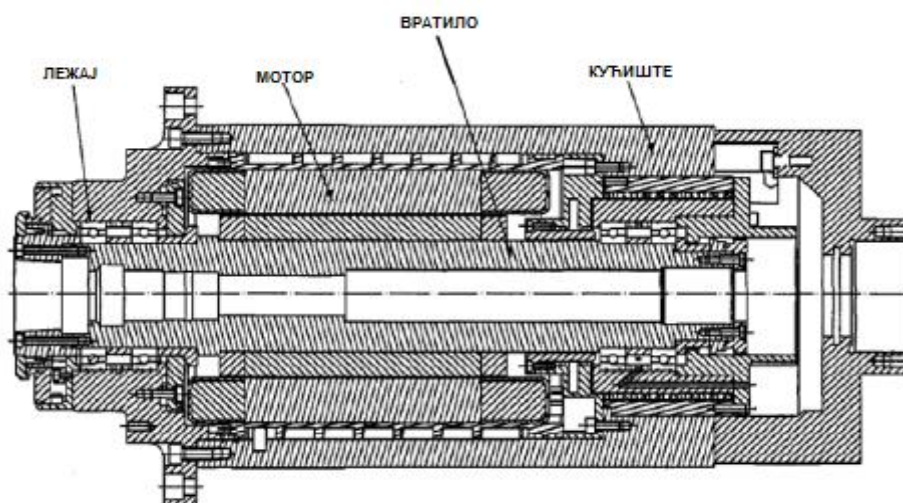
- 3) кинетичка енергија из амортизера апсорбује оптерећења кроз пригушни елемент,
- 4) интегрисан сензор за контролу позиције,
- 5) аутоматско понављање,
- 6) висока тачност,
- 7) смањење застоја машина,
- 8) повећање продуктивности и
- 9) на располагању су за сва моторна вретена, различитог дизајна и димензија.

8. Високобрзинска вратила

Смањење производног времена тенденција је у високо прецизној производњи, при чему је прецизност радног комада врло важна у производној индустрији. При томе је високобрзинско вратило један од најкритичнијих делова који се користе у алатним машинама, па његова прецизност представља важан чинилац у свеукупној изради високобрзинског резања. Високобрзинско вратило (слика 8.1.) се састоји из: сензора померања, алата, држача алата, кућишта, вратила, лежаја, чекрка и спојнице. Многе студије о високобрзинском резању су фокусиране на силе резања, вибрацију вратила као и на ефекте топлотне деформације вратила. Највећи проблем који се јавља је како прописно мерити и објективно евалуирати високобрзинско вратило. Јер свеобухватна динамичка својства и евалуација састава вратила директно утичу на резна својства целокупне алатне машине. Овај рад приказује свеобухватно мерење и евалуацију високобрзинског вратила, која се одражавају на свеукупне одлике вратила, а која се базира на међународним стандардима. Код вратила који се користе за веома велике брзине (слика 8.2.) мотор је смештен унутар кућишта због боље равнотеже.



Слика 8.1. Састав вретена [14]



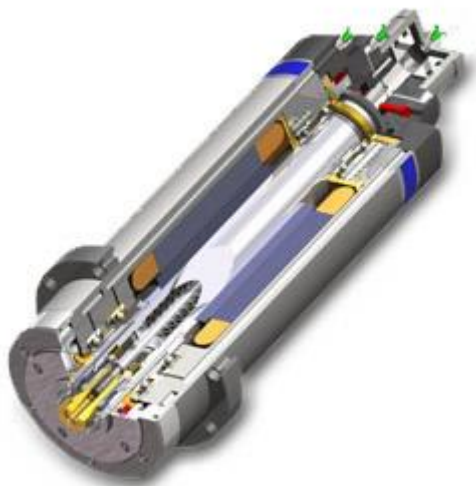
Слика 8.2. Високобрзинско погонско вретено [14]

8.1. IBAG вратила

IBAG је компанија из Северне Америке, која између осталог дизајнира и производи широк спектар високобрзинских вратила. Вратила која производи ова компанија достижу максималну брзину до 140.000 *RPM* и ниво снаге до 130 *ks*. Коришћењем ових вратила повећава се производња, побољшава се укупна ефективност и остварују се нижи трошкови.

IBAG користи најсавременије технологије улежиштења који су данас доступни, укључујући хибридне керамичке угаоне кугличне лежајеве. Избор лежаја је у зависности од производне операције за коју ће се користити вратило.

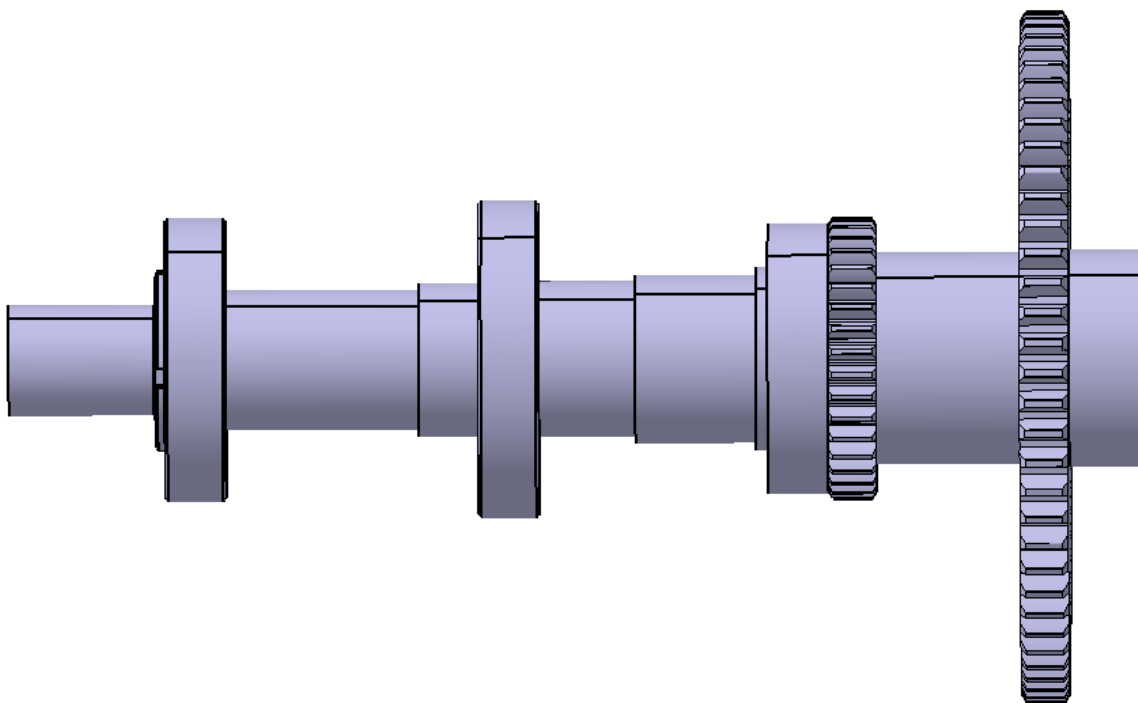
Да би се успешно увеле велике брзине вратила у постојећи производни процес, неопходно је имати знање и искуство.



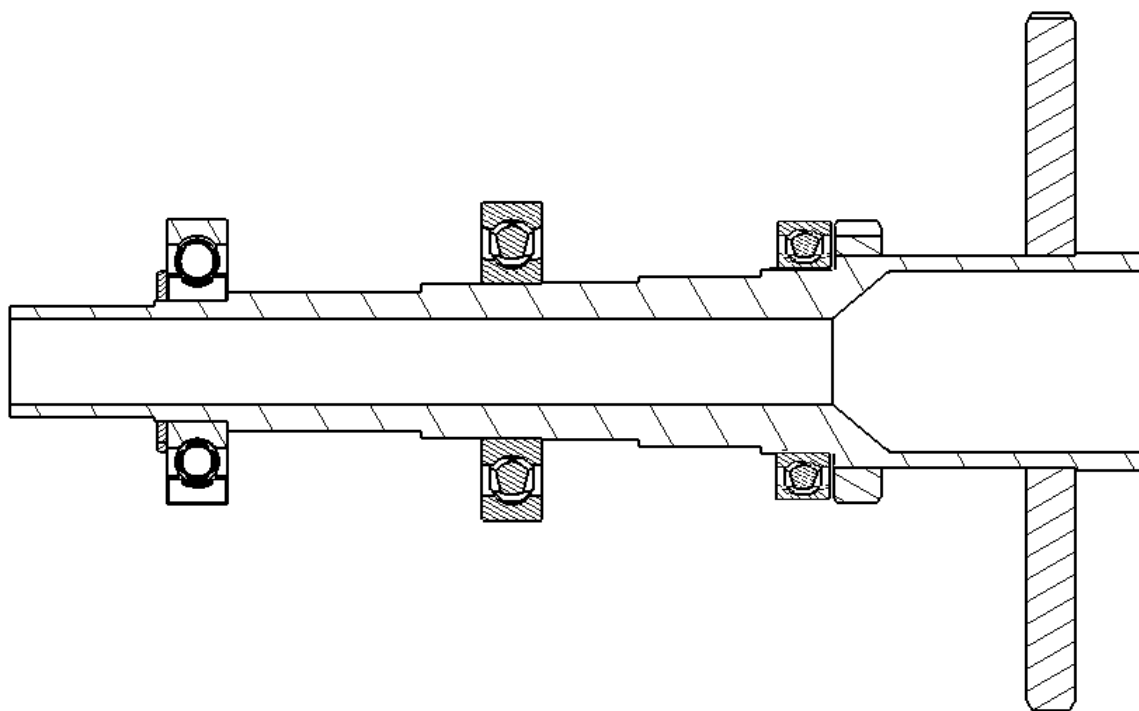
Слика 8.3. IBAG вратило [13]

9. Пример моделираног главног вратила

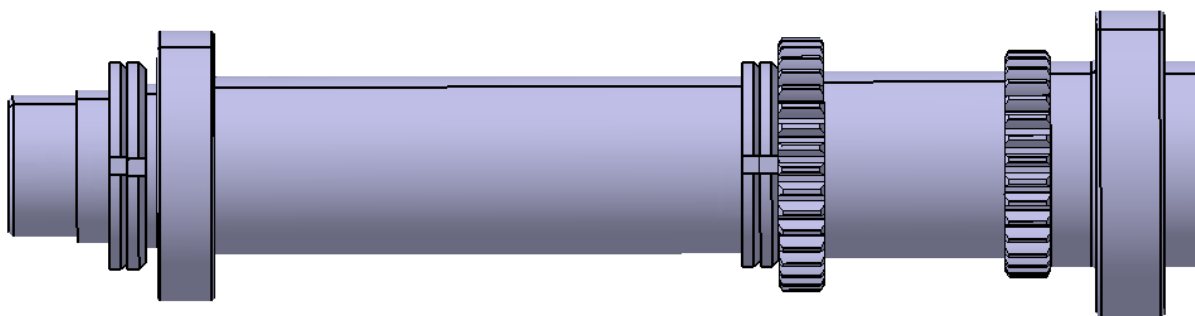
На следећим сликама дати су примери моделираних главних вратила код машина за стругање.



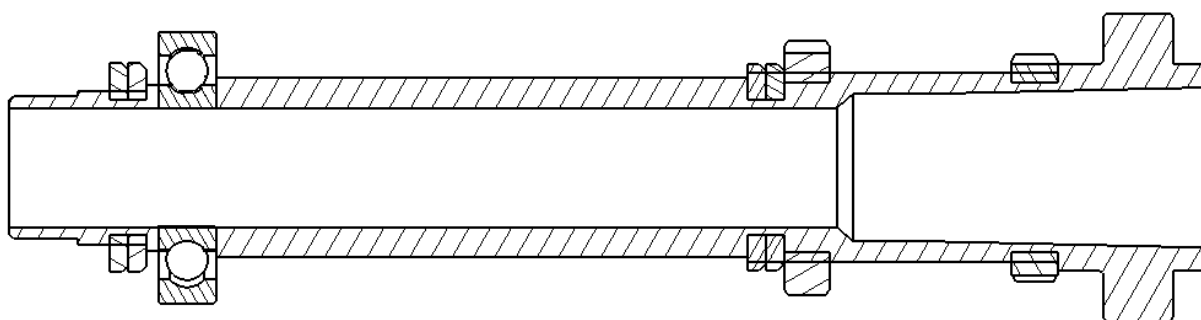
Слика 9.1. Пример моделираног главног вратила



Слика 9.2. Главно вратило (пресек)



Слика 9.3. Пример моделираног главног вратила



Слика 9.4. Главно вратило (пресек)

10. Закључак

Вратила представљају један од најзначајнијих излазних елемената машина алатки. Представљају носаче обртних машинских делова као што су: зупчаници, каишници, ланчаници, фрикциони точкови, спојнице и др. Вратила омогућавају обртање делова који се налазе на њима, спајање у функционалну целину и преношење оптерећења.

Вратила се према намени деле на: вратила преносника, погонска и специјална. А према облику се деле на: права, коленаста, карданска, брегаста и гипка. Избор материјала вратила се врши на основу захтева у погледу чврстоће, издржљивости, тврдоће, осетљивости на неравномерну расподелу оптерећење, обрадљивости, трошкове израде и др. Основни материјали за израду вратила су угљенични (обични) конструкциони челици, челици погодни за побољшање и цементацију.

Конструктивни (геометријски) облик вратила одређен је обликом и променом његовог попречног пресека дуж његове осе – у зависности од оптерећења, начина ослањања и остваривања спојева са другим елементима. Попречни пресеци вратила могу бити круг, квадрат, троугао, искошени троугао и кружни прстен. Пуни попречни кружни пресек је најпогоднији за израду и најчешће изведен конструкциони облик вратила.

Димензионисање вратила врши се првенствено на основу потребне чврстоће и провере крутости и осцилаторне стабилности конструкције. Крутост, односно деформације вратила представљају важан критеријум при прорачуну и конструисању вратила.

Сигурност вратила се исказује одговарајућом величином степена сигурности вратила. Степен сигурности вратила одређује се и проверава на свим местима где се може очекивати да величина радног напона буде изнад критичне вредности за материјал и врсту напрезања у критичном пресеку у коме би могло доћи до појаве разарања.

Спољашња оптерећења изазивају одговарајућа напрезања која се изражавају величином напона. Напон представља бројчану величину унутрашњих сила по јединици површине неког пресека носача. Величина напона изражава се у N/m^2 , или N/mm^2 , и другим јединицама међународног система SI .

Геометријска и радна тачност алатне машине зависи од избора врсте, квалитета и димензија лежајева и њиховог распореда дуж вратила. Постоје различите конструкције улежиштења радних вратила машине. Она зависе од врсте обраде, величине и распореда оптерећења, димензија и облика вратила. Сва вратила се углавном ослањају на два, а понекад и на три ослонца, тј. лежишта. Лежишта која се примењују у вретеништима алатних машина морају да

задовоље низ специфичних захтева у које спадају између осталог захтеви за тачност, крутост, век трајања, као и специјални захтеви који произилазе из услова рада склопа главног вратила и целе машине. У зависности од машине и захтева који се пред њу постављају примењују се следећа класа: повишене, посебно повишене, високе, веома високе, прецизне, веома прецизне и врхунско прецизне класе тачности.

Веома често (ако не и увек) габарити главних вратила тј. основне димензије више зависе од конструкционих захтева и њиховог прилагођавања него од напрезања којима су она изложена. Облик главног вратила (пуних или шупљих) треба да обезбеди прецизно и тачно причвршћавање стезног алата или предмета обраде, или самог резног алата.

Специфичне главе вратила су специфични стезни прибори чијом се уградњом код неких алатних машина битно утиче на облик, димензије и механичке особине главног вратила, тј. глава вратила. Постоје две основне групе ових прибора: механизми за стезање помоћу расечене чауре и механизми за аутоматско стезање.

Глава вратила представља завршетак главног вратила стандардног облика и мере преко ког се остварује веза вратила са дршком алата (машина код којих алат врши главно кретање, односно преко прибора са обратком (код стругова). Облици и мере глава вратила су стандардизовани са циљем да се обезбеди компатибилност машине и алата.

Током година вратила CNC машина су се развила у високо напредна технолошка решења у кључним операцијама. Обично, она се користе за операције као што су глодање, бушење, брушење, сечење, тестерисање и др. Служе као "срце" машине и вратила су тако пројектовано да омогуће висок ниво брзине, тачности и прецизности.

У оквиру овог рада извршена је анализа главних вратила машина алатки која омогућава машинским инжењерима да на једном месту прикупе све потребне информације о главним вратилима. Ове информације омогућавају лакши прорачун, пројектовање и моделирање истих.

11. Литература

- [1] Светислав Захар: *Машине алтке 2*, Машински факултет, Крагујевац, 1997.
- [2] Богдан Недић: *Пројектовање преносника машина алатки (скрипта)*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2011.
- [3] Вера Николић: *Машински елементи*, Машински факултет, Крагујевац, 2004.
- [4] Божидар Крижан: *Конструкцијски елементи I*, Машински факултет, Ријека, 2006.
- [5] Богољуб Недимовић: *Преносници снаге, Вратила*, Машински факултет, Београд, 1996.
- [6] Снежана Ћирић Костић: *Вратила и осовине (скрипта)*, Машински факултет, Краљево, 2004.
- [7] <http://americanmachinist.com/qc-and-inspection/turning-health-machine-tool-spindles> (приступљено августа 2014.)
- [8] <http://news.thomasnet.com/companystory/Siemens-Offers-Spindle-Solutions-for-Machine-Tool-Applications-560419> (приступљено августа 2014)
- [9] <http://www.spsspindle.com/New-Spindles> (приступљено августа 2014)
- [10] <http://www.gamweb.com/spindle-safety-system-main.html> (приступљено августа 2014)
- [11] <http://www.tehnickasd.edu.rs/download/> (приступљено августа 2014.)
- [12] Семинарски рад: *Вратила*, Машински факултет, Крагујевац 2005.
- [13] <http://www.ibagna.com/spindles.htm> (приступљено августа 2014.)
- [14] <http://hrcak.srce.hr/file/99496> (приступљено августа 2014.)