

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Дипломске академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Машински елементи

Број индекса: 33/2003

Александра М. Димитријевић

Прорачун и моделирање тањирасте опруге

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Зорица Ђорђевић -ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Резиме

Овај дипломски рад обрађује тему „Прорачун и моделирање тањирасте опруге“. Рад је теоријско – практичан и састоји се од три целине. Написан је помоћу специјалистичке литературе. Први део је теоријски о опругама, док се други део односи на прорачун једне тањирасте опруге, где се на основу димензија израчунавају нормални напони на затезање и притисак у карактеристичним тачкама, као и деформациони рад и крутост опруге. У трећем делу је приказано моделирање тањирасте опруге у софтверском пакету CATIA.

Циљ овог дипломског рада је основно упознавање са опругама, са акцентом на тањирасту опругу као и њен прорачун на основу датих димензија и моделирање тањирасте опруге.

Abstract

This thesis deals with the topic "Design and Modeling of Plate Springs." Work is theory- practical and consists of three parts. It is written by a specialist literature. The first part is the theoretical part about the springs, while the second part refers to the budget of the plated spring, where the calculations based on the dimensions of the normal voltage in training and pressure at characteristic points, as well as the work of deformation and rigidity of the spring. The third part shows modeling plated springs in CATIA gives software package.

The aim of this thesis is a basic introduction to the spring, with an emphasis on plate spring and its budget to the given dimensions and its modeling.

МАМИ И ТАТИ

Садржај:

1.0 Увод	1
2.0 Опруге	3
2.1 Опруге изложене савијању или флексионе опруге	5
2.1.1. Лиснате опруге	6
2.1.2. Гибњеви	7
2.1.3. Завојна флексиона опруга	8
2.1.4. Спиралне флексионе опруге	9
2.2.1. Цилиндричне завојне опруге	10
2.2.2. Конусне завојне опруге	12
2.3. Опруге изложене сложенем напрезању	13
2.3.1. Прстенасте опруге	14
3.0. Тањирасте опруге	15
3.1. Основни облици тањирастих опруга	16
3.2. Комбинација тањирастих опруга	19
3.3. Материјали за израду тањирастих опруга	24
3.3.1. Општи захтеви	24
3.3.2. Својства материјала који се користе за израду тањирастих опруга	25
3.4. Мере побољшања тањирастих опруга	28
3.5. Специјалне намене тањирастих опруга	29
3.5.1. Тањирасте опруге за притезање котрљајних лежаја	29
4.0. Прорачун тањирастих опруга	30
4.1. Прорачун сила и напона	30
4.2. Врсте оптерећења тањирастих опруга	33
5.0 Пример прорачуна и израде модела једне тањирасте опруге	35

5.1. Прорачун опруге	35
5.2. 3D моделирање производа.....	39
5.2.1 Моделирање делова.....	41
5.2.2. Моделирање склопова.....	41
5.2.3. Генерисање техничке документације.....	42
5.3. Моделирање тањирасте опруге	
у програмском пакету CATIA.....	43
5.3.1 Заобљавање ивица	48
5.3.2. Генерисање техничког цртежа.....	50
5.3.3. Поступак израде техничког цртежа.....	50
5.3.4. Генерисање кота.....	54
6.0. Закључак.....	55
7.0 Литература.....	56
Прилог	

1.0 Увод

Свака машина или машински уређај састављени су од делова, елемената. Сваки део машине или уређаја врши тачно одређену функцију. Облик и величина, врста материјала и друге карактеристике појединих машинских елемената, зависе од функције коју извршавају.

Машина или шире машински систем представља материјализован производ људског ума намењен извршавању одређене функције. Према овој функцији, машине се деле на: радне, енергетске и наменске. Радне машине су намењене за извршавање радних функција. Трансформација једног облика енергије у други врши се помоћу енергетских машина. Наменске машине извршавају посебне операције.

Делови машина који се без разарања не могу даље расклапати су основни машински делови, на пример: завртањ, навртка, клип, осовина, опруга, итд.

Скуп више машински делова који чине једну целину је машински склоп, на пример: спојнице, кочнице, вентили, итд. У оквиру машинског склопа може бити више подсклопова, на пример: клип и клипњача код мотора СУС.

Машинска група и машинска подгрупа су скуп више машинских делова, склопова и подсклопова који чине једну функционалну целину и обављају одређену радну функцију, на пример: мењач код возила, мотор, итд.

Машина је састављена од више машинских делова, подсклопова, склопова, подгрупа и група повезаних у једну функционалну целину.

Машински елемент може бити машински део, машински подсклоп, склоп или машинска група ако извршава елементарну функцију у машинском систему.

Машински делови се могу сврстати у две групе: општу и посебну. У општу групу спадају машински елементи који су саставни делови веома великог броја машина и уређаја, на пример: навртке, осовине и вратила, лежајеви, преносници, опруге, спојнице, итд. Посебну групу чине машински елементи који имају ужи специфични значај и налазе примену на релативном мањем броју машина и машинских уређаја, на пример: клипови, клипњаче, цилиндри, котураче, добоши, итд.[1].

Елементи из опште групе се могу сврстати у следеће области:

- елементи за везу (машински спојеви),
- елементи за пренос снаге,
- елементи за обртна кретања,
- елементи арматура и хидрауличних инсталација.

Елементи за везу се могу разврстати у следеће подгрупе:

- навојни спојеви,
- заковани спојеви,
- заварени спојеви,
- залепљени спојеви,
- пресовани спојеви,
- спојеви клиновима,
- жлебни спојеви,
- спојеви чивијама,
- зглобне везе,
- еластични спојеви.

Елементи за пренос се према принципу рада деле на:

- механичке,
- електричне,
- хидрауличне,
- пнеуматске.

Елементи за обртна кретања се деле на:

- вратила и осовине,
- котрљајни лежаји,
- клизна лежишта,
- спојнице и кочнице.

Елементи арматура и хидрауличких инсталација обезбеђују транспорт и управљање флуидима у машинским системима. Ту спадају судови под притиском, цеви и цевни затварачи, вентили и др. [1].

2.0 Опруге

Еластични елементи спадају у групу елемената за везу и користе се за еластично спајање машинских делова и склопова. У пракси се често уместо термина еластични елементи користи термин опруга.

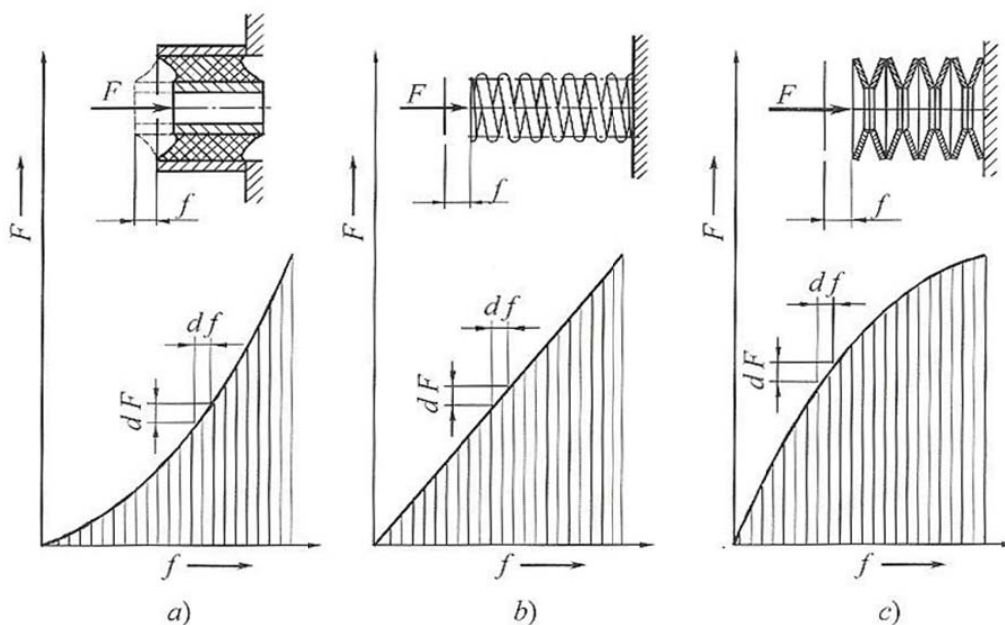
Опруге су механички функционални елементи способни да се под дејством спољашњег оптерећења еластично деформишу и да абсорбовану енергију поново претворе у механички рад. Рад се у опрузи акумулира у виду потенцијалне енергије која се користи у различите сврхе:

- за остваривање сталне притискујуће силе или затежуће силе (код вентила, брава, затварача),
- за амортизовање удара (еластични ослонци машина, спојеви за ослањање друмских и железничких возила),
- за мерење силе, тежине или момената (код мерних уређаја),
- за остваривање сила или спрега у краћем или дужем временском интервалу (ударна сила у механизму код наоружања, разних врста избацивача, спрег у сатном механизму),
- за ограничавање највећих вредности сила, односно највећих притисака (код вентила сигурности) или највећих момената увијања (код сигурносних спојница).

Велике деформације опруга остварују се захваљујући специфичном облику и високој еластичности као и применом материјала велике чврстоће. Облик опруге се прилагођава потребном односу силе и деформације што дефинише карактеристику еластичности опруге.

Карактеристика опруге може бити (слика 1):

- прогресивна ($c \neq \text{const}$)
- линеарна ($c \neq \text{const}$)
- дегресивна ($c \neq \text{const}$).



Слика1. Карактеристика опруге: а) прогресивна, б) линеарна, ц) дегресивна

Крутост опруге је сила F , момент торзије T или момент савијања M потебан за остваривање јединичне деформације:

$$c = \frac{dF}{df}, \quad c = \frac{dT}{d\psi}, \quad c = \frac{dM}{d\varphi} \quad (1.0)$$

Деформациони рад је рад утрошен на деформисање опруге:

$$A = \int_0^f F df, \quad A = \int_0^\psi T d\psi, \quad A = \int_0^\varphi M d\varphi \quad (2.0)$$

У случају линеарне карактеристике опруге одговарајући деформациони рад је:

$$A = \frac{1}{2}Ff, \quad A = \frac{1}{2}T\psi, A = \frac{1}{2}M\varphi \text{ .(3.0)}$$

Материјали за израду опруга поседују изузетно велику чврстоћу и еластичност. Такви материјали могу да поднесу висока напрезања што омогућава да опруге могу бити малих димензија.

Најчешће се примењују челици за побољшање легирани хромом, силицијумом, манганом. Ови челици врло добро подносе ударна оптерећења. За израду опруга користи се и природна и синтетичка гума. Гума поседује високу вредност модула еластичности, па је погодна за израду опруга изложених ударима и вибрацијама. Опруге израђене од гуме имају велику пригушну способност. [1].

Подела опруга се најчешће врши према врсти напрезања која се јављају при деформисању и то на:

- опруге изложене савијању или флексионе опруге,
- опруге изложене увијању или торзионе опруге,
- опруге изложене сложенем напрезању.

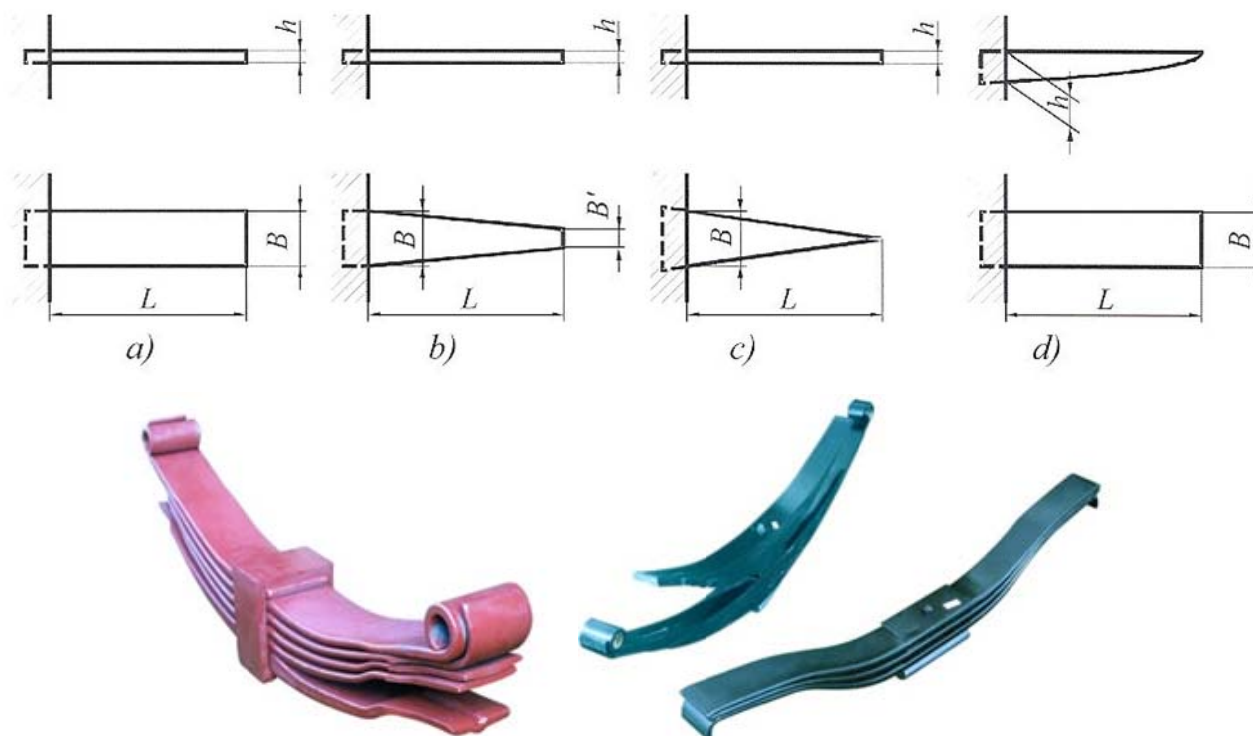
2.1 Опруге изложене савијању или флексионе опруге

Ове опруге су у току рада изложене савијању, а могу бити у облику конзоле константног или променљивог пресека по дужини, или могу бити навијене у облику завојнице или у облику спирале. У зависности од начина извођења деле се на:

- лиснате опруге (прости гибњеви),
- гибњеве (сложена лисната опруга),
- завојне опруге,
- спиралне опруге.

2.1.1. Лиснате опруге

Просте лиснате опруге примењују се за мања оптерећења и у случају када се тражи велика деформабилност, као што је случај код маханизама за текстилне и пољопривредне машине или у прехранбеној и процесној индустрији, као и за остваривање сталне силе притиска код брава, поклопаца. Основни облик просте лиснате опруге представља се моделом конзоле дебљине h и ширине B која је изложена дејству силе F на растојању L од уклештења. Лиснате опруге различитог облика приказана су на слици 2.



Слика 2. Модели лиснатих опруга

Поред ових једнокраких лиснатих опруга постоје и двокраке лиснате опруге које су уклештене на оба краја.

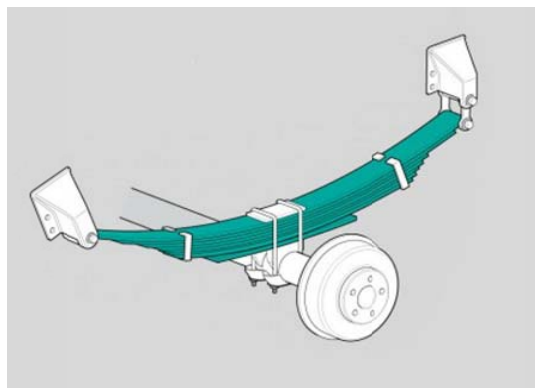
2.1.2. Гибњеви

Гибњеви – сложене лиснате опруге имају значајну примену у техници. Користе се код свих друмских и шинских возила и имају улогу да пренесу оптерећење и да ублаже све ударе, потресе и вибрације у току рада. На слици 3 су приказани примери сложених лиснатих опруга.

Гибањ представља више простих лиснатих опруга спојених у једну целину. Листови гибња су од вруће ваљаних челичних трака. Гибњеви се скоро увек израђују тако да су савијени у неоптерећеном стању, па се под оптерећењем исправљају. Пример гибња за возило дат је на слици 4.



Слика 3. Примери сложених лиснатих опруга



Слика 4. Пример гибња за возило

Оптерећење гибња је једносмерно промениљиво. Због ударних оптерећења и осцилација при кретању возила, није могуће извршити прецизан прорачун.

Број и попречни пресек листова гибња одређује се на основу потезног односа силе и деформације, односно крутости.

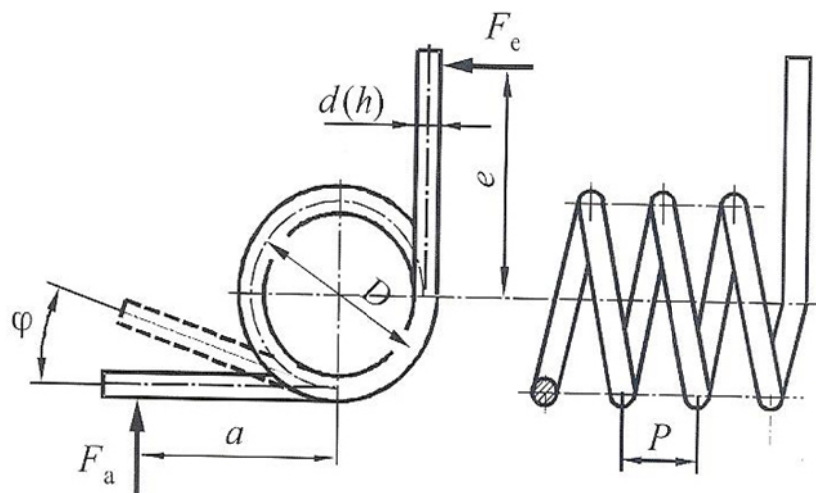
За већа оптерећења користе се двоструки гибњеви. Моћ ношења једностуког и двоструког гибња је једнака, али је угиб двоструког гибња два пута већа од угиба једноструког гибња. Погодност ових гибњева састоји се у томе да обезбеди уједначеније деформације неоптерећеног и оптерећеног возила. Ако је возило неоптерећено, ослањање се врши само преко главног гибња, а када оптерећење достигне пун износ у додир ступа и помоћнигибањ.

Димензије гибња се бирају на основу простора расположивог за уградњу, на основу оптерећења, на основу дозвољеног напона и на основу потребне крутости односно деформација гибња.

2.1.3. Завојна флексиона опруга

Завојна флексиона опруга се примењује за остваривње силе притиска на поклопцима, бравама, затварачима, за повратно кретање полуга. Опруга се добија ако се жица кружног попречног пресека намота у облику завојнице. На савијеним крајевима опруге делује сила. Један крај опруге је учвршћен (ослања се на непокретан део везе), а други се ослања на покретани део везе. Деформација завојних опруга је знатно већа него код лиснатих опруга. Код завојних опруга деформација се изражава углом заокретања слободног краја опруге (углом φ).

На слици 5 је да приказ завојних флексионих опруга.



Слика 5. Завојне флексионе опруге

2.1.4. Спиралне флексионе опруге

Спирална флексиона опруга у односу на завојну опругу, омогућава већу деформацију, која се мери углом заокретања φ (углом деформације) слободног краја, односно бројем обртаја покретног дела спирале (бројем углова од 360°). Спиралне опруге се користе за акумулирање енергије за рад сатних механизма, остваривање повратног хода казаљке мерних инструмената и др. Спиралне опруге се израђују од хладно ваљане траке правоугаоног пресека $b \times h$ или жице мале дебљине у односу на дужину, која се навија у виду архимедове спирале. Веома ретко се примењује жица

кружног попречног пресека пречника d . Примери спиралних опруга датису на слици 6.[1].



Слика 6. Примери спиралних опруга

2.2. Опруге изложене увијању – торзионе опруге

Опруге изложене увијању или торзионе опруге настају навијањем жице кружног, правоугаоног или квадратног попречног пресека у виду завојнице. Опруге могу бити направљене у облику конуса или цилиндра. На основу радног оптерећења које делује у оси опруге, оно остварује притисак или затезање опруге.

Основна подела опруга изложених увијању је на:

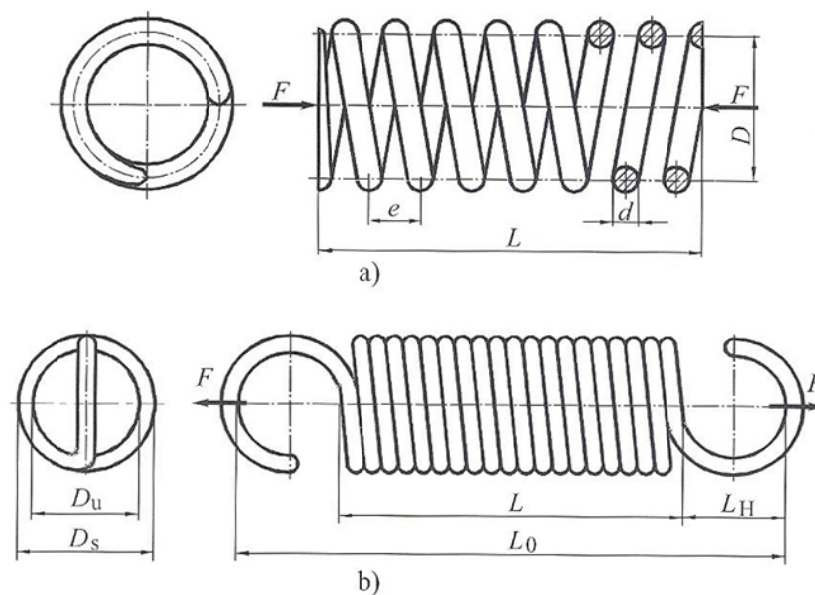
- цилиндричне завојне опруге,

- конусне завојне опруге.

2.2.1. Цилиндричне завојне опруге

Цилиндричне завојне опруге имају широку примену у машинству. Најчешћа примена је код возила и уопште транспортних средстава, мотора СУС, спојница.

Завојне опруге, по правилу, имају десну завојницу (Слика 7).



ц)д)

Слика 7. Цилиндричне завојне опруге кружног попречног пресека: б) иц) вучне, а) ид)притисне.

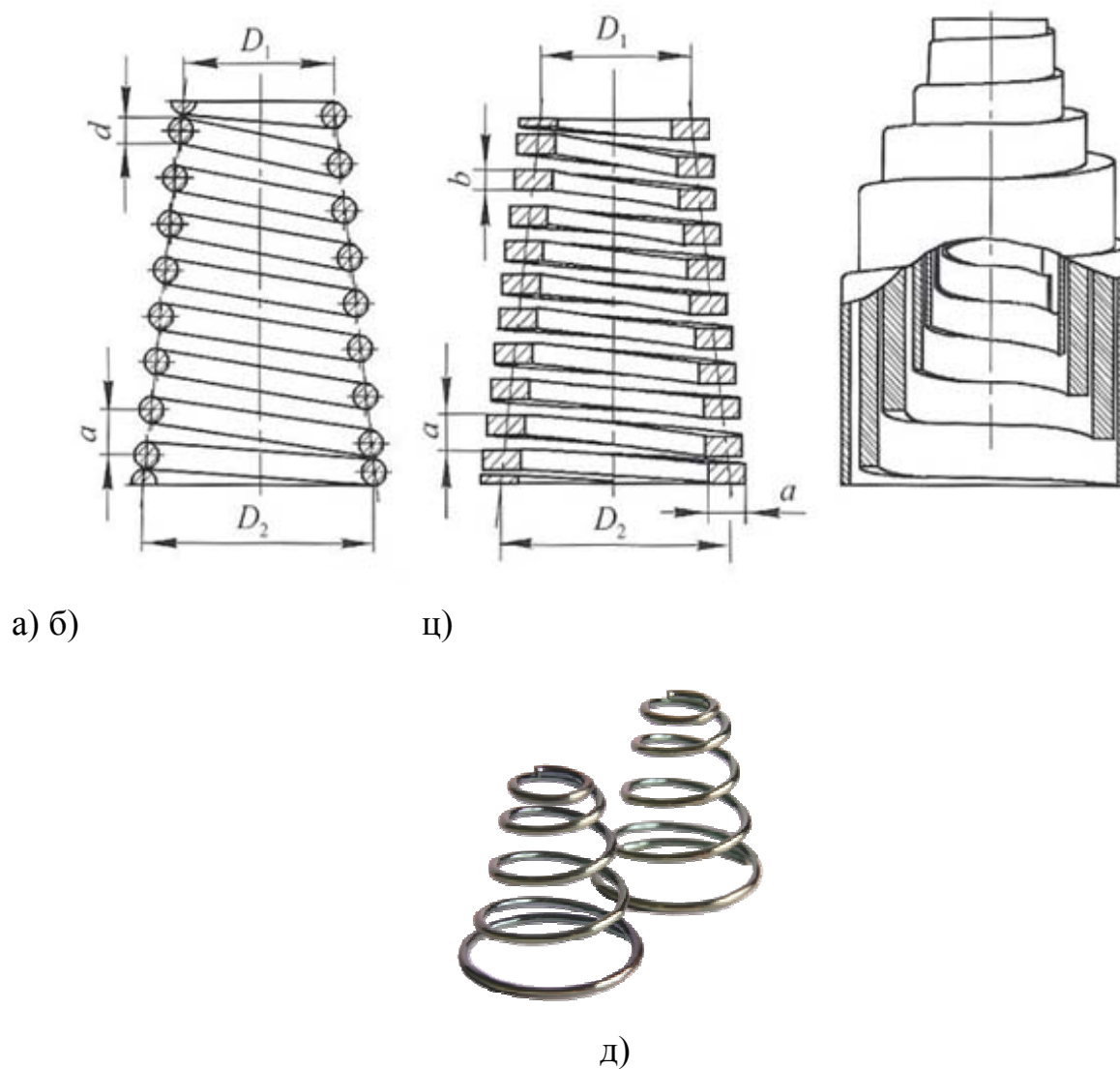
За мања оптерћења ове опруге се израђују навијањем од хладно вучене или брушене жице у хладном стању. Опруге већих димензија израђују се обликовањем у врућем стању од вруће ваљаних профила од Č2133, Č2134, Č2330, а опруге изложене изразито динамичком оптерећењу од Č4230, Č4830, Č4831. После навијања, опруге се термички обрађују чиме се побољшавају њихове механичке особине. У циљу даљег побољшања карактеристика издржљивости, опруге се излажу отврдњавању дејством млаза челичних куглица.

2.2.2.Конусне завојне опруге

Конусне завојне опруге примењују се при високим оптерећењима у циљу постизања прогресивне карактеристике. Пречник ове опруге се постепено смањује идући од једне ка другој ослоној површини. При дејству силе, више се деформишу завојци већег пречника. Карактеристика опруге је линеарна све до тренутка када завојак највећег пречника додирне ослону површину.

Код опруга са малим углом конуса долази до слегања или “наседања” завојка, једних на друге. При већим угловима конуса мањи завојци упадају у веће и при већим силама опруга се толико сабије да сви завојци могу бити у истој равни.

Телескопске опруге се израђују од жице правоугаоног попречног пресека. Завојници код ових опруга при деформисању улазе један у други, чиме се остварује велика деформација и прогресивна карактеристика. Опруге се примењују код вагонских одбојника. Примери конусних завојних опруга датесу на слици 8.[3].



Слика 8. Конусне опруге, а) кружни попречни пресек жице, б) правоугаони попречни пресек жице, ц) телескопска опруга, д) модел завојне опруге.

2.3. Опруге изложене сложенем напрезању

Основне врсте опруга изложених сложенем напрезању су:

- тањирасте опруге,
- прстенасте опруге.

2.3.1. Прстенасте опруге

Прстенасте опруге се састоје од унутрашњих и спољашњих челичних прстенова који налажу међусобно својим коничним површинама на којима се јављају велике силе трења. Прстени се израђују ваљањем, а затим се термички обрађују. Уздужна сила, коју прима опруга, ствара на додирној површини прстена велику силу притиска под чијим се дејством спољни прстенови истежу, а унутрашњи скупљају. Тако долази до сабијања опруге. Притисак на додирним површинама изазван радном силом релативно је велики јер је угао конуса $\alpha \approx 15^\circ$.

Исправна функција опруге остварује се ако напони у прстенима не прекораче границу течења. Димензије и број прстенова одређују се на основу потребне деформације, силе у опрузи и дозвољеног напона на граници течења. Прстенови могу бити једнаке дебљине или унутрашњи прстен може имати мању дебљину.[3].

Ове опруге имају велику моћ амортизовања удара (слика 9).



Слика 9. Примери прстенастих опруга.

3.0. Тањирасте опруге

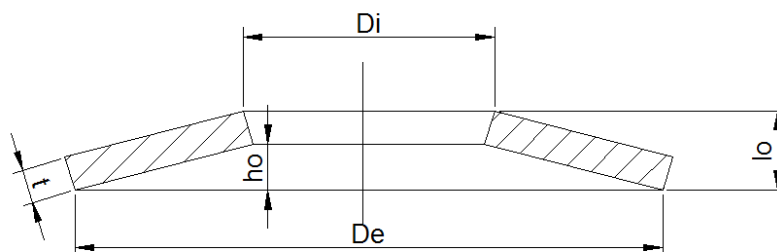
Тањирасте опруге су опруге предвиђене за велике силе и користе се код разних уређаја за амортизацију. У малом простору тањираста опруга може преузети велику силу. Тањирасте опруге се користе при статичким и једносмерно променљивим динамичким оптерећењима.

Под дејством оптерећења висина опруге се смањује и опруга тежи облику равне плоче. Карактеристика опруга је линеарна или дегерсивна. При посебним комбиновањем опруга може се остварити и прогресивна карактеристика.

Најважније особине тањирастих опруга су:

- велика сила при малом угибу,
- знатно боље искоришћење простора за уградњу него код других врста опруга,
- према потреби може се добити права или повијена карактеристична линија,
- са различитим начином слагања тањирастих опруга на вођице – стубове и са њиховим различитим димензијама могу се добити и прогресивне карактеристичне линије,
- повећање угла слога тањирастих опруга њиховим слагањем у наизменичном поретку,
- повећање сила опруге слагањем тањирастих опруга и истосмерном поретку,
- избором односа величина спољашњег према унутрашњем пречнику $D_s/D_u=2$, постиже се најповољније искоришћење материјала.

Тањирасте опруге, позната и као Belleville опруге, састоје се од кружних дискова, конично угнутих, како је приказано попречним пресеком на слици 10. Кад се опруга оптерети, како је назначено, диск тежи да се исправи, а настала еластична деформација представља суштину њеног функционалног дејства.[2].

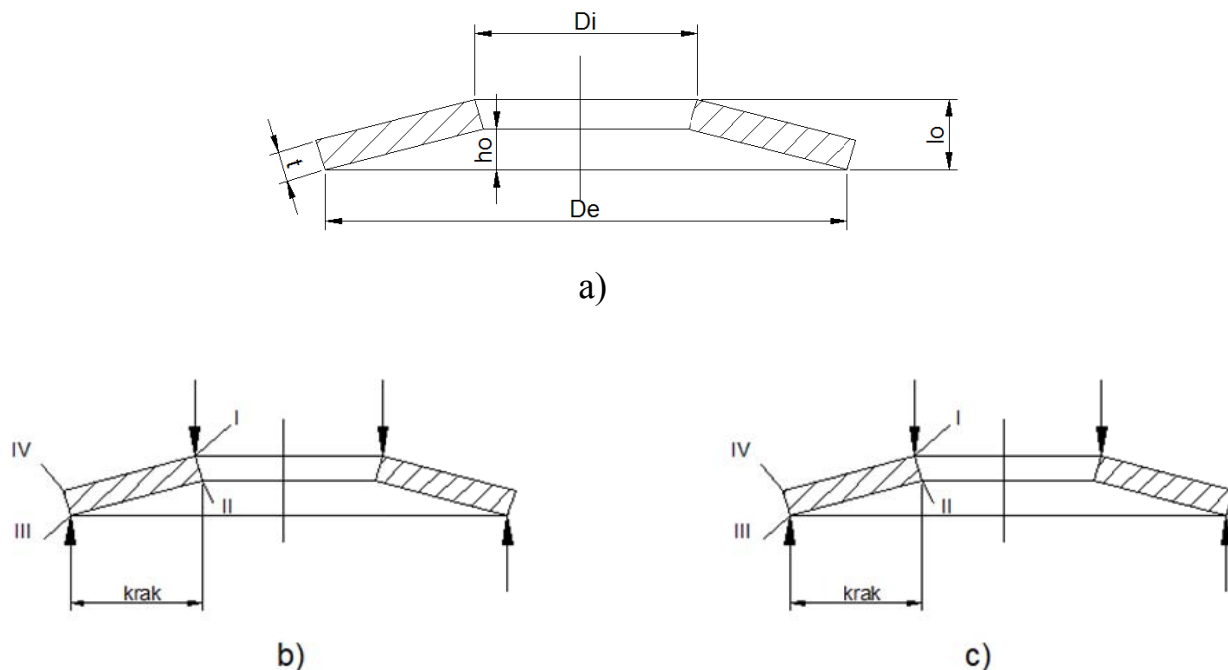


Слика 10. Облик тањирасте опруге

3.1. Основни облици тањирастих опруга

Према димензијама и начину израде разликују се три групе опруга:

- прву групу чине хладно обликоване опруге (опруге чија је дебљина плоче мања од 1 mm - слика 11.а),
- другу групу чине опруге дебљине $t=1...4$ mm које се такође просецају из хладно ваљаних трака и извлачењем доводе у облик коничне љуске. Унутрашње и спољашње ивице се обрађују резањем (слика 11.б),
- трећа група су топло обликоване опруге са обрађеним ивицама на месту ослањања (дебљин плоче је већа од 4 mm - слика 11.ц).



Слика 11. Тањирасте опруге

На слици 11 са I, II, III и IV су означене тачке у којима дејствује оптерећење. То значи да тањирасте опруге преносе оптерећење по спољашњем и унутрашњем обиму. Као што се види са слике 11. ц) код опруга треће групе, силе које дејствују на спољашњем обиму имају мањи крак дејства, па је и деформација мања него код опруга прве и друге групе. Под дејством оптерећења опруге су изложене притиску (тачка I); у спољашњим слојевима опруге (тачка III) јавља се затезање. Напони у тачки IV су занемарљиве вредности.

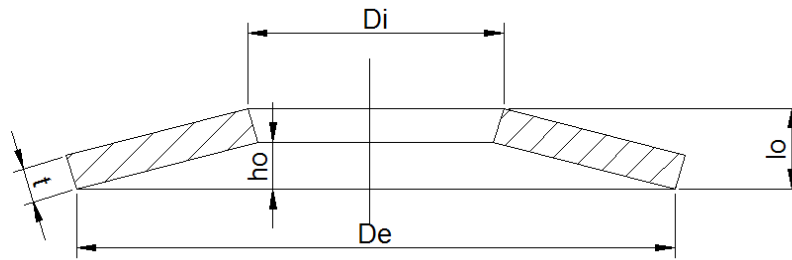
Стандардом DIN 2093 прописане су димензије, толеранције и дозвољена оптерећења тањирастих опруга. У табели 1., дате су димензије тањирастих опруга прописане овим стандардом.[2].

Табела 1. Преглед мера плочастих (тањирастих) опруга по DIN 2093.

Мере плочастих (тањирастих) опруга и сила F за деформацију $f=0,75h_0$							
D, mm	d, mm	Ред А тврде опруге			Ред Б меке опруге		
		t, mm	h_0 , mm	F, N	t, mm	h_0 , mm	F,N
8	4,2	0,4	0,2	210	0,3	0,25	120
10	5,2	0,5	0,25	340	0,4	0,3	210
12,5	6,2	0,7	0,3	66	0,5	0,35	300
14	7,2	0,8	0,3	800	0,5	0,4	290
16	8,2	0,9	0,35	1050	0,6	0,45	420
18	9,2	1,0	0,4	1300	0,7	0,5	580
20	10,2	1,1	0,45	1550	0,8	0,55	770
22,5	11,2	1,25	0,5	1950	0,8	0,65	730
25	12,2	1,5	0,55	3000	0,9	0,7	880
28	14,2	1,5	0,65	2900	1,0	0,8	1150
31,5	16,3	1,75	0,7	4000	1,25	0,9	1950
35,5	18,3	2,0	0,8	5300	1,25	1,0	1750
40	20,4	2,25	0,9	6500	1,5	1,15	2700
45	22,4	2,5	1,0	7900	1,75	1,3	3700
50	25,4	3,0	1,1	12500	2	1,4	4900
56	28,5	3	1,3	11500	2	1,6	4600
63	31	3,5	1,4	15500	2,5	0,175	7400
71	36	4	1,6	21000	2,5	2	6900
80	41	5	1,7	35000	3	2,3	11000
90	46	5,6	2,0	32000	3,5	2,5	14500
100	51	6	2,2	49000	3,5	2,8	13500
112	57	6	2,5	46000	4	3,2	18500
125	64	8	2,6	87000	5	3,5	31000
140	72	8	3,2	87000	5	4	28500
160	82	10	3,5	140000	6	4,5	41000
180	92	10	4	130000	6	5,1	39000
200	102	12	4,2	195000	8	5,6	79000
225	112	12	5	180000	8	6,5	72000
250	127	14	5,6	255000	10	7	120000

3.2. Комбинација тањирастих опруга

Врста тањирастих опруга, која је нашла највећу примену до сада, је прстенаста плоча (у облику конуса) са правоугаоним пресеком (слика 12).



Слика12. Пресек тањирасте опруге

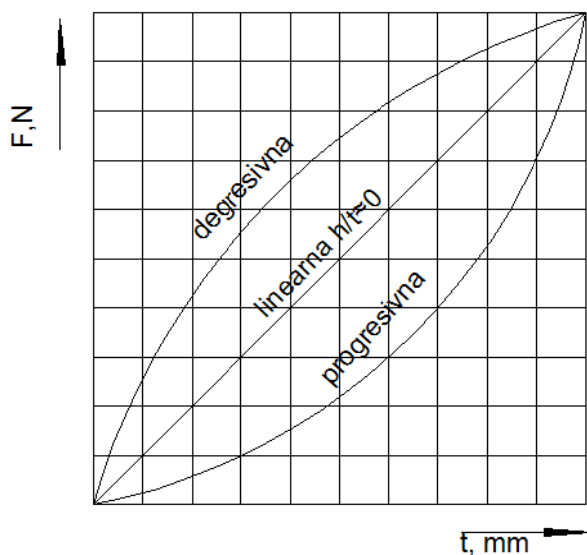
Оваква прстенаста плоча са правоугаоним пресеком оптерећује се равномерно на належним круговима што изазива еластично угибање. Одговарајуће зависности силе и хода опруге представљају карактеристичну линију тањирасте опруге.

За појединачни диск (слика 12) ток карактеристичне линије је закривљен и има дегресивни карактер (падајући). Степен закривљености карактеричне линије опруге зависи једино од односа слободне висине h_0 и дебљине тањира t . Полазећи од малог односа h_0/t , код којег је карактеристична линија скоро праволинијска, закривљеност расте са повећањем h_0/t . За специјлни случај када је $h_0/t = \sqrt{2}$, карактеристична линија код спљоштене опруге има један хоризонтални криви део, тј. опружна сила остаје готово константна при повећању хода опруге (слика 13).

Другим речима при истим вредностима оптерећења којима се излажу опруге, тањи диск ће имати веће кривљење карактеристичне линије него што ће то имати дебео диск. Ток карактеристичне линије мења се и код тањирастих опруга истих димензија ако су оне изложене различитим вредностима оптерећења.

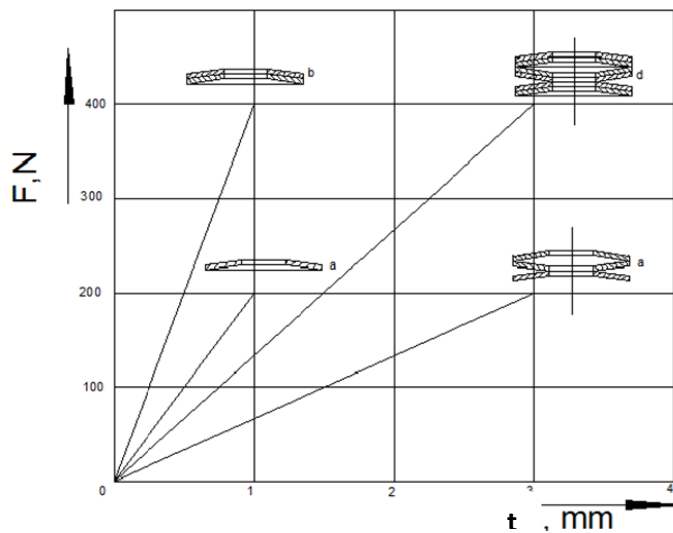
Ако, на пример, при предходном прорачуну оптерећених тањирастих опруга, не буде постигнут захтевајући облик карактеристичне линије дате опруге, већ

промена висине h_0 неоптерећеног тањира може омогућити тражену слику карактеристичне линије опруге.[4].



Слика 13. Карактеристике тањирасте опруге

За разлику од појединачних тањирастих опруга, са стубовима тањирастих опруга постиже се велика варијација зависности сила – ход опруге. Ово се постиже различитим комбиновањем тањирастих опруга у стуб тањирастих опруга.



Слика 14. Карактеристичне линије опружних стубова

На слици 14 приказана је карактеристична линија за опружне стубове са тањирастим опругама исте величине, али при различитом поретку:

- а) појединачни диск,
- б) пакет тањирастих опруга са два једносмерно наслагана диска (двостука опружна сила при истом ходу),
- ц) опружни стуб тањирастих опруга са три у различитом смеру поређана опружна пакета (двоструки ход опруге),
- д) опружни стуб тањирастих опруга са три у различитом смеру поређана опружна пакета (двострука сила и двоструки ход опруге).

При чему је:

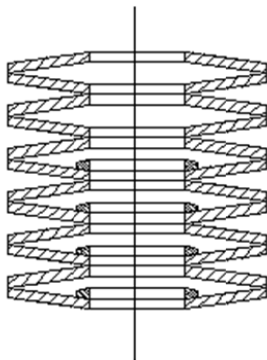
- опружни стуб – у различитом смеру поређани дискови (слика 14.ц),
- опружни пакет – једносмерно наслагани дискови (слика 14.б),
- опружни стуб – састоји се од више опружних пакета (у различитом смеру у стуб поређани опружни пакети) (слика 14.д).

Када се врши прорачун карактеристичних линија опружних стубова, полази се од прорачуна карактеристичне линије појединачног диска. Неопходно је знати да се у случају формирања опружног пакета сила која је важна за појединачни диск множи са бројем дискова који леже паралелно (слика 14.б). На овај начин се добија опружна сила пакета док је ход пакета једнак ходу појединачног диска. Код различито усмерено поређаних опруга у стуб опруга, ход стуба се добија множењем хода појединачне опруге, са бројем опруга у стубу (слика 14.ц). Опружна сила стуба у овом случају одговараће опружној сили појединачне опруге. За опружни стуб од различито поређаних опружних пакета (слика 14.д) повећава се како опружна сила тако и ход опруга.

Код стуба тањирастих опруга, "тањири" једноструке, двоструке и троструке насlage се при опртерећењуспљоште. Карактеристична линија једног оваквог

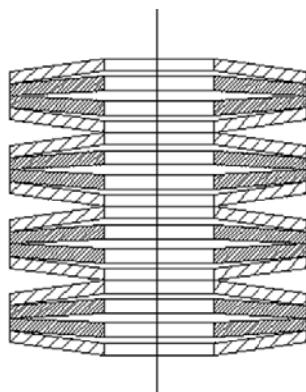
слога опруга има прогресиван ток. Прогресиван ток карактеристичне линије слога опруга може се постићи и повезивањем у слог више тањирастих опруга различитих дебљина. При овом слагању тањирастих опруга у опружни стуб мора се водити рачуна о тањим пакетима, односно "тањирима", јер се они веома јако напрежу. Превелико напрезање тих пакета, односно појединачних дискова може се избећи помоћу прстенова за ограничавање деформације опруга.

На слици 15, приказан је различито усмерени слог истих тањирастих опруга у један опружни стуб са уметнутим међупрстеновима различите дебљине. На овај начин постиже се ефектније пригушивање ударне енергије. При овоме крутост опруге расте на рачун силе трења, која настаје на ивицама тањира при њиховом клизању по међупрстеновима.



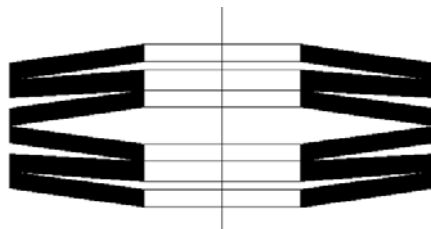
Слика 15. Опружни стуб са уметнутим међупрстеновима различите дебљине

Помоћу уметнутих међупрстенова различите дебљине, врши се организирање хода опруга унутар опружног стуба. Ограничавање хода унутар опружног стуба започиње се уметањем најдебљих међупрстенова на делу 1 опружног стуба. Код дела 3 опружног стуба, који је без уметнутих прстенова, мора се обратити пажња да се допуштено оптерећење не прекорачи.



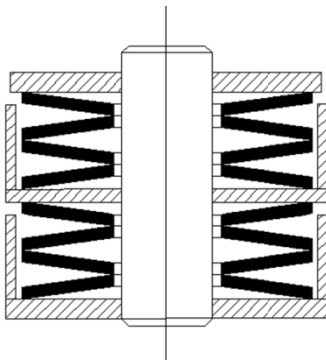
Слика 16. Комбинација тањирастих опруга различите дебљине у опружни стуб

Слика 16 показује комбинацију тањирастих опруга различите дебљине у опружни стуб. Захваљујући оваквом посебном пакету ограничавање хода није потребно за тање опруге. Код тањирастих опруга са истим пречницима и различитом дебљином увек тање опруге имају нешто већу слободну висину h_0 . Захваљујући овоме могућ је приказани поредак.



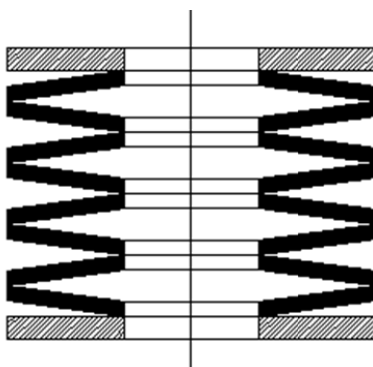
Слика 17. Комбиновање тањирастих опруга различите дебљине у опружни стуб

Остваривање прогресивне карактеристике опружне линије могуће је комбиновање тањирастих опруга са равним плочама. При слагању тањирастих опруга према слици 17, једна група од две тањирасте опруге између којих се налази равна плоча, добија при оптерећивању толики угиб да три дела леже паралелно. Након овога равна плоча се поново растерећује пошто се она креће у правцу свог полазног стања. Одговарајући поредак могућ је и код плоча и тањирастих опруга различитих дебљина и распореда.



Слика 18. Слог тањирастих опруга од три различите дебљине

На слици 18, приказан је слог тањирастих опруга од три различите дебљине. Ограничавање хода опруга у циљу заштите тањих опруга од превеликог напрезања постиже се додавањем прстенова који леже споља.



Слика 19. Слог тањирастих опруга са прогресивном карактеристиком

Код слога тањирастих опруга у опружни стуб као на слици 19, добија се такође прогресивна опружна карактеристична линија. У овом случају прогресивна карактеристична линија настаје сталним скраћивањем крака нападне тачке силе[4].

3.3 Материјали за израду тањирастих опруга

3.3.1. Општи захтеви

Најважнија особина која се захтева од једне опруге је да опруга својом еластичном деформацијом прими спољашње оптерећење. Опруге, као

широко примењивани машински елементи, погодне су за акумулирање рада, за опружно уравнотежавање маса у покрету као и за мерење силе.

У свим областима примене опруге, тежи се да оне буду што мањих димензија. Да би опруга мањих димензија могла у потпуности да испуни све захтеве који јој се постављају, за њену израду користе се посебни материјали. Материјали који се користе за израду опруга морају да поседују изузетно велику чврстоћу и еластичност. Такви материјали могу да поднесу одговарајућа висока напрезања тако да опруге могу да буду малих димензија. У циљу искључења могућности лома опруга услед непредвиђеног преоптерећења, материјали за израду опруга треба да поседују и довољну пластичну способност промене облика. Неопходно је такође да су отпорни и на вибрације. Међутим, треба знати да отпорност материјала за опруге на вибрације није фиксна карактеристикама материјала.

Високе вредности чврстоће материјала за израду опруга, постижу се хомогеном структуром материјала и високим степеном чврстоће материјала. Остале посебне особине материјала као што су отпорност на корозију, термоотпорност и антимагнетно понашање материјала прописују се за опруге у зависности од њихове примене.[2].

3.3.2. Својства материјала који се користе за израду тањирастих опруга

За израду тањирастих опруга осим челика, и то најчешће челика побољшаних хромом и ванадијумом користе се и различити неметали. При избору неметала за израду тањирастих опруга треба узети у обзир вредност модула еластичности неметала, јер он са порастом радне температуре опада. Да би се ипак постигле, израдом опруга од неметала, захтеване вредности односа сила - ход опруге, потребно је извршити кориговање дебљине тањирасте опруге. У табели 2.0 дат је приказ челика за израду тањирастих опруга са наведеним хемијским саставом, својствима као и неметала (табела 3) такође са наведеним хемијским саставом, својствима и модулом еластичности [2].

Дипломски рад

Табела 2. Карактеристике челика за израду опруга

Ознака материјала	%C	%Si	%Mn	%Cr	%V	%Mo	%W	%Ni	Sastav	Примедбе
Нормална употреба										
Ck 60	0,6	0,4	0,6	-	-	-	-	-	-	Дебљина тањирасте опруге $\leq 1,5$
67 Si Cr S	0,67	1,20	0,5	0,5	-	-	-	-	-	Дебљина тањирасте опруге $\leq 40,0$
58 Si Cr 4	0,58	0,35	1,0	1,0	0,1	-	-	-	-	Дебљина тањирасте опруге $\geq 40,0$
Високе температуре										
67 Si C 5r	0,67	1,2	0,5	0,5	-	-	-	-	-	do 300°C
45 Cr Mo V 6-7	0,45	0,35	0,7	1,5	0,3	0,7	-	-	-	do 400°C
30 W Cr V 11-9	0,3	0,35	0,3	2,3	0,6	-	4,2	-	-	do 450°C
65 W Mo 34-8	0,65	0,35	0,3	3,5	0,7	0,8	8,5	-	-	do 600°C
Челик отпоран на корозију										
x 12 Cr Ni 17-7	0,15	1,0	2,0	17	-	-	-	7,5	-	Дебљина тањирасте опруге $\leq 3,0$
x 12 Cr Ni Mo 17-7	0,07	1,0	2,0	17	-	-	-	7,5	-	Дебљина тањирасте опруге $\leq 3,0$
x 30 Cr 13	0,30	0,4	0,4	13	-	-	-	-	-	Дебљина тањирасте опруге $\leq 2,5$
x 35 Cr Mo 17	0,35	0,4	-	16,5	-	1,15	-	-	-	Дебљина тањирасте опруге такође подесна до 400°C >10mm
Ниска температура										
45 Cr Mo V 6-7	0,45	0,35	0,7	1,5	0,3	0,7	-	-	-	do -50°C
x10CrMnNi12-18	0,10	0,35	18,0	12	-	-	-	1,5	-	Испод -50°C
Опруге за сатове										

Дипломски рад

Табела 3. Карактеристике неметала за израду опруга

Ознака материјала Хемијски састав	Хемијски састав	Својства	Модул еластичности N/mm ² на 20°C
Бакар- берилијум Cu Be 2	2% берилијум, остало бакар	а) постојан на корозију код многих медија б) немагнетичан ц) врло повољан модул еластичности д) дозвољено напрезање као код челика	130000
Контрацид - берилијум В+М-Be	0,75% Be 60% Ni 17% Fe 15% Cr 7% Mo	а) постојан на корозију код многих медија б) немагнетичан ц) повољан модул еластичности д) дозвољено напрезање као код челика е) за температуре до 400°C	170000
Коситан-бронза (федербронза) Su Bz 8	7,5-9% остало бакар	а) постојан на корозију код многих медија б) немагнетичан ц) повољан модул еластичности д) дозвољено веће напрезање него код челика	120000
Никл- бронза NB 20	60% бакар 20% никл 20% манган	а) постојан на корозију код многих медија б) немагнетичан ц) повољан модул еластичности д) дозвољено веће напрезање него код челика за температуре до 400°C	130000
Nimonik 90	1,8-3% Ti, 18-20% Cr, 0,8-2,0% Al 15-21% Co max 0,1% C 1,5 % Si 1,0% Mn, 5,0% Fe, остатак никл	а) за врло високе температуре преко 600°C до 870°C б) разумљиво само по себи са врло сниженим напрезањем ц) нормалан модул еластичности који са високом температуром опада	197000
Легирани никл	6% Al 4% V остало титан	а) постојан на корозију многих медија б) немагнетичан ц) повољан модул еластичности д) за температуру до 350°C г) врло повољна специфична тежина 415g/cm ³	105000

3.4. Мере побољшања тањирастих опруга

Све тањирасте опруге побољшавају се термичком обрадом. На овај начин се постиже максимална жилавост, а тиме и оптималне вредности динамичке чврстоће опруге. Према DIN 2093 тврдоћа опруга треба да је 42- 52 HRC.

Након термичке обраде тањирастих опруга врши се њихово блокирање. Свака тањираста опруга се најмање једном спљошти. На овај начин опруга се блокира, тако да уградњом опруге величина l_0 опруге при оптерећивању 1,5-струком опружном силом, када је $s=l_0$, не прелази допуштено одступање.

Очвршћавање, нарочито пескарење млазом куглица, показало се веома добрим за тањирасте опруге изложене осцилаторном оптерећењу. Овим очвршћавањем тањирасте опруге, омогућено је знатно продужење века трајања опруге. Код опруга које су изложене пескарењу куглицама смањују се унутрашњи напони на истезање настали сабијањем опруга. Ово доводи до нешто тежег сабијања опруга које су пескарене млазом куглица. Из тог разлога не препоручује се пескарење куглицама или неки други вид очвршћавања површина тањирастих опруга које су изложене мирном оптерећењу.

За тањирасте опруге важно је и правилно обавити заштиту њихових површина. Ако приликом наручивања тањирастих опруга није другачије прописано, оне се испоручују са фосфатном или брунираном површином. Првенствено се површине опруге фосфатирају пошто фосфатирана површина представља бољу заштиту од бруниране површине. Заштита површина тањирастих опруга изводи се и излучивањем металних превлака из водених раствора на челичне површине већих чврстоћа, какве су код тањирастих опруга. Недостатак овог поступка заштите је пошто се са сигурношћу не може искључити успорена кртоломност опруге изазвана водоником.

Из овог разлога уведено је механичко – хемијско поцинковање површина које се показало добрим. Овај поступак заштите површина спроводи се у добошу и могућ је за тањирасте опруге чији спољашњи пречник не прелази 80mm. Цинк и кадмијум се примењују у поступку механичко – хемијско поцинкованих површина.

Површинска обрада никловањем без струје (према Konigen поступку) је такође могућа. Овим поступком може се избећи кртоломност опруга услед

присуства водоника. Заштитом површина опруга никлом не постиже се самозаштитно дејство површина.[2].

3.5. Специјалне намене тањирастих опруга

3.5.1. Тањирасте опруге за притезање котрљајних лежаја

Лежаји су машински склопови и најчешће се уграђују у ослонце вратила, осовина и осовиница. Основна улога лежаја је преношење оптерећења са покретних на непокретне делове машина, као и обезбеђење услова за релативно кретање обртних делова.

Према врсти релативног кретања радних површина под оптерећењем разликујемо клизне и котрљајне лежаје.

Котрљајни лежаји се састоје од прстенова или колUTOва, котрљајних тела која се налазе између прстенова односно колUTOва и кавеза (држача котрљајних тела).

У појединим случајевима уградње котрљајних лежаја, лежаји се уграђују као слободни, како би се ради изједначавања толеранције при уградњи или термичких дилатација омогућило њихово слободно аксијално померање. Пошто у котрљајном лежају мора постојати и одређен радијални зазор, који представља укупно могуће померање једног прстена у односу на други у правцу нормалном на осу лежаја, рад са великим бројем обртаја може изазвати велику буку.

Пракса је показала да притезање котрљајних лежаја са одговарајућим тањирастим опругама има за исход рад без буке. Истовремено се захтеване толеранције по дужини у аксијалном правцу лако могу изједначити уградњом тањирастих опруга.

За ову посебну намену утврђене су величине тањирастих опруга које су конструкционо прилагођене различитим типовима котрљајних лежаја[3].

4.0. Прорачун тањирастих опруга

4.1. Прорачун сила и напона

За израчунавање опружне силе тањирасте опруге трапезастог пресека важи следећа једначина:

$$F = k \frac{f \cdot t}{K_1 D_e^2} [(h_0 - f)(h_0 - 0,5 f) + t^2] \quad (4.0)$$

Где су:

D_e – спољашњи пречник тањирасте опруге,

D_i – унутрашњи пречник тањирасте опруге,

k – коефицијенти еластичности материјала опруга,

f – угиб опруге,

h_0 – чиста висина појединачног тањира редуковане дебљине,

t – дебљина опруге.

Коефицијенти еластичности материјала опруга је $k=4E/(1-\mu^2)$, где је E , N/mm^2 модул еластичности, а μ Poisson– ов број.

За израчунавање напона на карактеристичним местима пресека трапезних опруга, користе се следеће једначине:

$$\text{Место I: } \sigma = k \frac{f}{K_1 D_e^2} [K_2 (h_0 - 0,5 f) + K_3 t] \quad (5.0)$$

$$\text{Место II: } \sigma = k \frac{f}{K_1 D_e^2} [K_3 t - K_2 (h_0 - 0,5 f)] \quad (6.0)$$

$$\text{Место III: } \sigma = k \frac{f}{K_1 D_e^2 \psi} [K_4 (h_0 - 0,5) + K_3 t] \quad (7.0)$$

Где су $\psi = D_e/D_i$, коефицијенти K_1, K_2, K_3, K_4 дате су у табели 4.0.

Места I, II, III и IV су тачке у којима делује оптерећење (слика 11). Напони су у N/mm^2 . Позитивне вредности су напони изазвани затезањем, а негативне вредности су напони изазвани притиском. Заправо, затезање се јавља у тачкама II и III, док је тачка I изложена притиску.

Код динамички оптерећених опруга услов је: $\sigma_{II} - \sigma_{III} \leq \sigma_H$, где је σ_H критичан напон.[1].

Табела 4. Вредности коефицијената K_1, K_2, K_3, K_4 за тањирасте опруге (DIN 2093)

$\psi = D_e / D_i$	K_1	K_2	K_3	K_4	$\psi = D_e / D_i$	K_1	K_2	K_3	K_4
1,2	0,29	1,02	1,05	1,08	3,2	0,79	1,46	1,81	2,16
1,4	0,45	1,07	1,14	1,21	3,6	0,80	1,54	1,94	2,34
1,6	0,57	1,12	1,22	1,32	3,8	0,80	1,57	2,00	2,43
1,8	0,65	1,17	1,30	1,43	4,0	0,8	1,60	2,07	2,54
2,0	0,69	1,22	1,38	1,54	4,2	0,80	1,64	2,13	2,62
2,2	0,73	1,26	1,45	1,64	4,4	0,80	1,67	2,19	2,71
2,4	0,75	1,31	1,53	1,75	4,6	0,80	1,70	2,25	2,80
2,6	0,77	1,35	1,60	1,85	4,8	0,79	1,73	2,31	2,89
2,8	0,78	1,39	1,67	1,95	5,0	0,78	1,76	2,37	2,98
3,0	0,79	1,43	1,74	2,05					

Крутост опруге с:

$$c = k \frac{t}{K_1 D_e^2} (h_0^2 - 3h_0 f + 1,5 f^2 + t^2) \quad (8.0)$$

Деформациони рад A ,

$$A = k \frac{f^2 t}{2K_1 D_e^2} [(h_0 - 0,5 f)^2 + t^2]_{(9.0)}$$

У тренутку када деформација постане, теоријски, једнака h_0 ($f=h_0$, код потпуног исправљања опруге), сила у опрузи је једнака F_c . На основу израза 4.0 (једначина за силу) добија се:

$$F_c = k \frac{t^3 h_0}{K_1 D_e^2} \quad (10.0)$$

Израз (10.0) се често користи у пракси за претходне прорачуне тањирастих опруга. На основу израза се лако добијају упрошћени изрази за напон, крутост, деформацију, итд.

У пракси се најчешће користе три алтернативне методе за израчунавање напона и угиба тањирастих опруга. То су:

а) Метода еластичног коничног диска(Almen – Laszlo),

б) Метода еластичне равне плоче,

ц) Метода номиналног напона.

Метода еластичног коничног диска заснована је на једначинама које су добили Almen и Laszlo, које узимају у обзир утицај промене угла конуса за време угибања, али не и утицај локалног течења материјала и заосталих напона. Ова метода је задовољавајућа за израчунавање угиба и вредности напона у зависности од нивоа оптерећења, када је опруга изложена дејству цикличног оптерећења.[1].

Метода еластичне равне плоче је заснована на претпоставци да се диск може посматрати као равна површ и примењује се само када су угиб и висина конуса мањи од половине дебљине ($d/h < 0,5$ и $h/t < 0,5$).

Код методе номиналног напона угиб се израчунава као код метода а) и б), али се напон добија на једноставнији начин при чему се занемарује утицај концентracије напона. Ова метода је примењива само за услове статичког оптерећења и у случају када је опруга скоро равна при оптерећењу. При појави замора материјала не би требало користити ову методу.

4.2. Врсте оптерећења тањирастих опруга

Тањирасте опруге, у свом раду, трпе две основне врсте оптерећења, а то су:

- 1) статичко оптерећење и
- 2) динамичко оптерећење.

Даље се ова оптерећења деле у подгрупе.

Статичко оптерећење се обично јавља код опруга:

- а) које су оптерећене статички без промене оптерећења и
- б) које су са повременим променама оптерећењима у већим временским интервалима и мањим бројем промена оптерећења од 10^4 за време предвиђеног века трајања опруге.

За опруге које су изложене статичком оптерећењу меродавно место за прорачун је оно где се јавља највећи напон. Пракса је показала да се уколико су тањирасте опруге направљене од легираних челика и подвргнуте само статичком или нецикличном оптерећењу, притисни напони могу кретати у опсегу од 1400 – 2700 МПа, према једначини(5.0). Мада ове вредности

изгледају екстремно велике, с обзиром да се овако израчунати напон јавља у околини горње унутрашње ивице опруге (у близини тачке I слика 10.) где долази до појаве течења, ипак ће, на тај начин доћи до равномерне расподеле напона са мањим интензитетима у односу на израчунате вредности.

Динамичко оптерећење тањирастих опруга настаје онда кад се оптерећење мења између два опружна угиба. Тањирасте опруге које су изложене динамичком оптерећењу можемо поделити у две групе, у зависности од века трајања:

- а) тањирасте опруге са практично неограниченим веком трајања. Ове опруге треба да издрже без лома $2 \cdot 10^6$ промена оптерећења.
- б) тањирасте опруге са ограниченим веком трајања. Ове опруге треба да издрже, у подручју временске чврстоће, $10^4 \leq N \leq 2 \cdot 10^6$ број промена оптерећења до лома опруге.

За ову врсту оптерећења меродавно место за димензионисање попречног пресека је оно где настају напрезања на затезање, а то је на унутрашњој површини тањирасте опруге.[2].

5.0 Пример прорачуна и израде модела једне тањирасте опруге

5.1. Прорачун опруге

Прорачуната тањирасту опругу ознаке DIN 2093-B100GR2[6].

Димензије опруге су:

$$D_e = 100 \text{ mm}$$

$$D_i = 51 \text{ mm}$$

$$h = 2,8 \text{ mm}$$

$$t = 3,5 \text{ mm}$$

$$l_0 = 6,3 \text{ mm}$$

Потребан угиб тањирасте опруге: $f = 1,8 \text{ mm}$,

Материјал тањирасте опруге: $\check{C}$ 4308 ($E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$; $\nu = 0,3$)

Прорачун:

- Коефицијент еластичности материјала опруге:

$$k = \frac{4E}{1 - \nu^2} = \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{1 - 0,3^2} = 923076,923 \text{ N / mm}^2$$

Коефицијенти $K_1 = 0,682$; $K_2 = 1,21$; $K_3 = 1,364$ бирају се из табеле 4. на основу односа пречника $\psi = D_e / D_i = 100/51 = 1,96$.

- Зависност силе од угиба:

$$F = k \frac{f \cdot t}{K_1 D_e^2} [(h_0 - f)(h_0 - 0,5 f) + t^2]$$

$$F = 923076,923 \frac{1,8 \cdot 3,5}{0,682 \cdot 100^2} [(2,8 - 1,8)(2,8 - 0,5 \cdot 1,8) + 3,5^2]$$

$$F = 12065,644 \text{ N}$$

- Крутост опруге c:

$$c = k \frac{t}{K_1 D_e^2} (h_0^2 - 3h_0 f + 1,5 f^2 + t^2)$$

$$c = 923076,923 \frac{3,5}{0,682 \cdot 100^2} (2,8^2 - 3 \cdot 2,8 \cdot 1,8 + 1,5 \cdot 1,8^2 + 3,5^2)$$

$$c = 4656,666 \text{ N/mm}$$

- Деформациони рад A:

$$A = k \frac{f^2 t}{2 K_1 D_e^2} [(h_0 - 0,5 f)^2 + t^2]$$

$$A = 923076,923 \frac{1,8^2 \cdot 3,5}{2 \cdot 0,682 \cdot 100^2} [(2,8 - 0,5 \cdot 1,8)^2 + 3,5^2]$$

$$A = 12171,378 \text{ N/mm}^2$$

- Максимални нормални напони у тачки I (напон на притисак):

$$\sigma_I = k \frac{f}{K_1 D_e^2} [K_2 (h_0 - 0,5 f) + K_3 t]$$

$$\sigma_I = 923076,923 \frac{1,8}{0,689 \cdot 100^2} [1,21 \cdot (2,8 - 0,5 \cdot 1,8) + 1,364 \cdot 3,5]$$

$$\sigma_I = 1723,173 \text{ N/mm}^2$$

- Нормални напон у тачки II (напон на затезање):

$$\sigma_{II} = k \frac{f}{K_1 D_e^2} [K_3 t - K_2 (h_0 - 0,5 f)]$$

$$\sigma_{II} = 923076,923 \frac{1,8}{0,682 \cdot 100^2} [1,364 \cdot 3,5 - 1,21(2,8 - 0,5 \cdot 1,8)]$$

$$\sigma_{II} = 602,976 \text{ N/mm}^2$$

- Нормални напон у тачки III (напон на затезање):

$$\sigma_{III} = k \frac{f}{K_1 D_e^2 \psi} [K_4 (h_0 - 0,5) + K_3 t]$$

$$\sigma_{III} = 923076,927 \frac{1,8}{0,68 \cdot 100^2 \cdot 1,96} [1,518(2,8 - 0,5) + 1,364 \cdot 3,5]$$

$$\sigma_{III} = 1027,380 \text{ N/mm}^2$$

- Сила F_c :

$$F_c = k \frac{t^3 h_0}{K_1 D_e^2}$$

$$F_c = 923076,923 \frac{3,5^3 \cdot 2,8}{0,682 \cdot 100^2}$$

$$F_c = 16248,590 \text{ N}$$

- Дозвољена одступања

- Дозвољено одступање за l_0 (висина опруге):

$$l_0 = 6,30^{+0.15}_{-0.05} \text{ mm}$$

- Дозвољено одступање дебљине опруге:

$$t = 3,50^{+0.06}_{-0.07} \text{ mm}$$

- Дозвољено одступање опружне силе

$$F = 12065,644^{+1799}_{-839} \text{ N}$$

- Дозвољено одступање пречника тањирасте опруге:

$$D_e = 100 \pm 12 \text{ mm}$$

$$D_i = 51 \pm 12 \text{ mm}$$

5.2.3D моделирање производа

Системи за пројектовање помоћу рачунара или CAD системи представљају скуп софтерских алата и технологија који инжењерима пружају низ погодности током рада на развоју конструкције производа. Те се погодности огледају у аутоматском извођењу конструкторских операција, као што су исцртавање линија, формирање тела, модификације, рад са базама стандардних елемената, размена цртежа и просторних модела и сл.

Данашњи CAD системи за пројектовање машинских конструкција махом су засновани на тродимензионалном (3D) моделирању, пружајући конструкторима пуну природност и флексибилност у раду. Ефекти примене ових система огледају се у повећању ефектности, креативности и квалитета.

Рад CAD система[5] се заснива на:

- Креирању модела,
- Примени моделских форми,
- Параметарском дефинисању моделских форми и модела,
- Примерима реакција,
- Примени односа `родитељ – дете`,
- Асоцијативности модела,
- Визуелној комуникацији.

Код савремених начина пројектовања помоћу рачунара полази се од равanske пројекције основног тродимензионалног облика производа који се моделира. У даљем поступку стварања модела додају се остали геометријско-технолошки ентитети којима се постиже крајња форма производа. Савремени програмски пакети поседују посебне модуле за скицирање основних идеја конструктора, које се током рада могу лако мењати и дорађивати.

Модел је рачунарска представа реалног производа или процеса, а геометријски модел је рачунарска представа геометријских, димензионих и тополошких карактеристика производа.

CAD системи који омогућавају запреминско моделирање суштински се разликују од систем за цртање. Код цртања, конструктор је од самог почетка стварања конструкције усредсређен на поштовање исправних димензија, немајући, при том, потпуни увид у њену просторну представу.

За разлику од цртања, моделирање се заснива на формирању, стварању коначног облика конструкције.

Модел се ствара помоћу моделских форми. Моделске форме се моделу додају кроз моделске операције. Неке моделске операције моделу додају, а неке одузимају материјал, док неке моделу додају неку посебну карактеристику, односно особину.

Моделска форма је елементарни геометријски, инжењерски, технолошки и производни облик и карактеристика, односно особина објекта који се моделира, од којих је сачињен и које га одликују.

Да би се створила моделска форма неопходно је креирати скицу њене раванске пројекције. Раванске скице су основа за свако моделирање у простору. Могу се користити за дефинисање профила од којих се праве модели или као референце за друге геометријске информације. Скице се креирају у равни поступком који се назива скицирање. Током формирања скице могу се увести разне врсте ограничења и зависности којима се иста у потпуности дефинише. Ограничења и зависности уводе се над ентитетима скице, као што су линије, осе, тачке, координати системи и сл.

Скица је равански (2D) објекат који представља профил тј. раванску пројекцију, основног (базног) облика моделске форме, референтна линија или склоп геометријских ентитета којима је дефинисано правило генерисања моделске форме.

Постоје три основне врсте модела које се користе у рачунарском пројектовању производа, односно моделирању[5]. То су:

- жичани модели,
- површински модели,
- запремински модели.

5.2.1 Моделирање делова

Моделирање делова применом моделских форми представља најшире распрострањену CAD технологију. Моделске форме обезбеђују креирање модела производа на релативно лак и интуитиван начин. Без обзира на сложеност геометрије конкретног машинског елемента и категорију конструкције којој припада поступак моделирања има мање или више универзални ток. У основи састоји се од следећих корака:

- формирање скица,
- креирање моделских форми,
- компоновање моделских форми у део.

Формирање скица започиње избором равни скицирања. За базну запреминску моделску форму то може бити нека од системских координатних равни, њихове копије или помоћна референтна раван.

Креирање моделских форми настаје применом одговарајуће моделске операције над скицом. Оне моделу могу додати или одузети материјал, док се моделске форме моделу увек додају.

Појединачни делови, односно машински елементи настају кроз поступак компоновања геометријских моделских форми у модел производа. Основна геометрија производа одређена је скупом запреминских моделских форми, али њена укупна дефиниција садржи и низ других помоћних, као и моделских форми знања.[5].

5.2.2. Моделирање склопова

Највећи број инжењерских конструкција подразумева више од једне компоненте тј. више од једног машинског елемента- машинске конструкције које имају најмање две компоненте чине склоп. У контексту моделирања

производа, стварање, представљање и анализа склопова представљају основне етапе, које се често преплићу и теку паралелно.

Моделирање склопова представља наставак моделирања делова. Одликују га две важне карактеристике:

- склопови поседују хијерархијску структуру и
- компоненте склопа су просторно и међусобно позиционо ограничене.

Прва карактеристика истиче значај убацивања компоненти које чине склоп. Индивидуални делови, као и подсклопови, морају се склопу додати у исправном редоследу да би монтажа елемената у реалним околностима била изводљива. Селекција креирања склопа чува се у облику стабла или спецификације модела, које је визуелно видљиво на монитору рачунара. С обзиром да је она део укупне дефиниције производа, може се користити у каснијим етапама за генерисањетехнолошке документације монтажних процеса, као и за креирање програма управљања опремом.

Друга карактеристика односи се на одређивање једнозначног просторног и међусобног положаја у простору сваке компоненте склопа. То се изводи увођењем ограничења, односно везама и релацијама које се успостављају између компоненти склопа.

5.2.3. Генерисање техничке документације

Један од најважнијих докумената о производу је технички цртеж. Он представља 2D модел производа којим су, као делом производне документације, дефинисани сви детаљи неопходни за израду готовог производа. Стога технички цртеж чини везу између 3D рачунарског модела и производних операција. На њима су приказане пројекције, погледи, пресеци, коте, квалитет храпавости површина, толеранције, напомене у погледу термичке обраде и посебне заштите површина, текстуалне напомене и сл. [5].

5.3. Моделирање тањирасте опруге у програмском пакету CATIA

CATIA V5 може се, као и сваки програм који ради под оперативним системом MS Windows покренути на два основна начина:

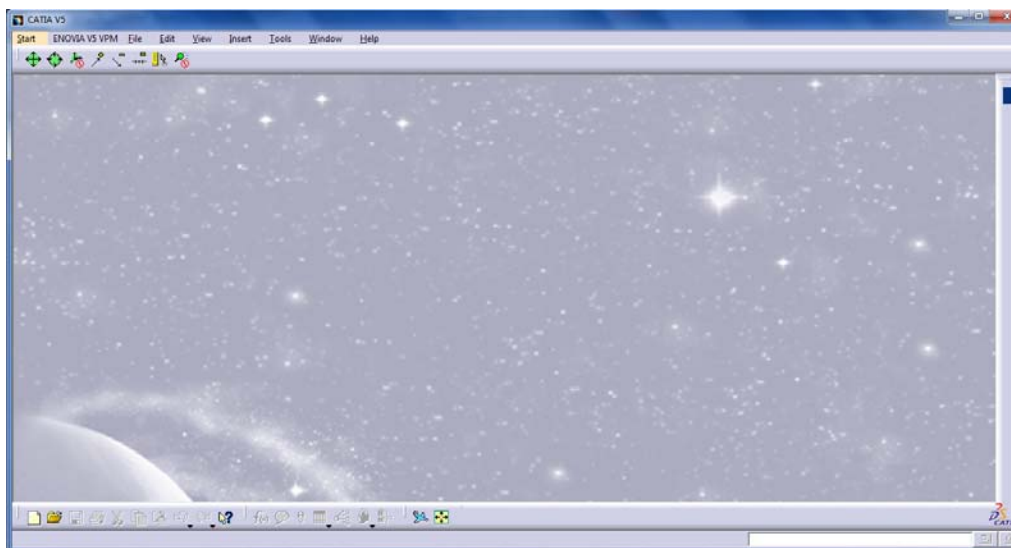


1. Дуплим кликом на икону програма или
2. Избором програма из MS Windows START менија:
START → All programs → CATIA → CATIA V5R18.

У зависности од подешавања (основно системско или корисничко), после поздравног прозора (слика 20) појавиће се једно од окружења приказаних на слици 21.



Слика 20. Програмско окружење програмског пакета CATIA V5 – основно системско

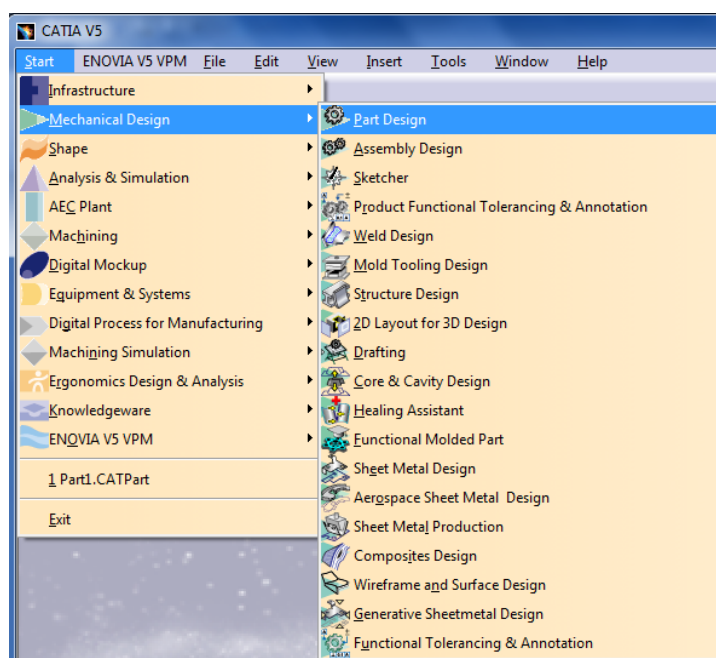


Слика 21. Програмско окружење програмског пакета CATIA V5 – корисничко

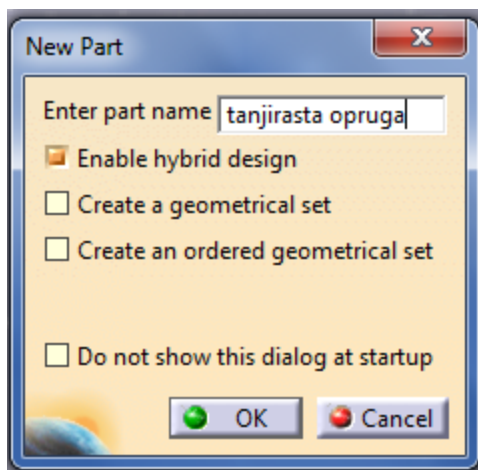
Из главног падајућег менија: Start изабрати:

Start → Mechanical Desing → Part Desing (слика 22).

У дијалог прозору New Part унети назив фајла (тањираста опруга) и потврдити командом ОК (слика 23).



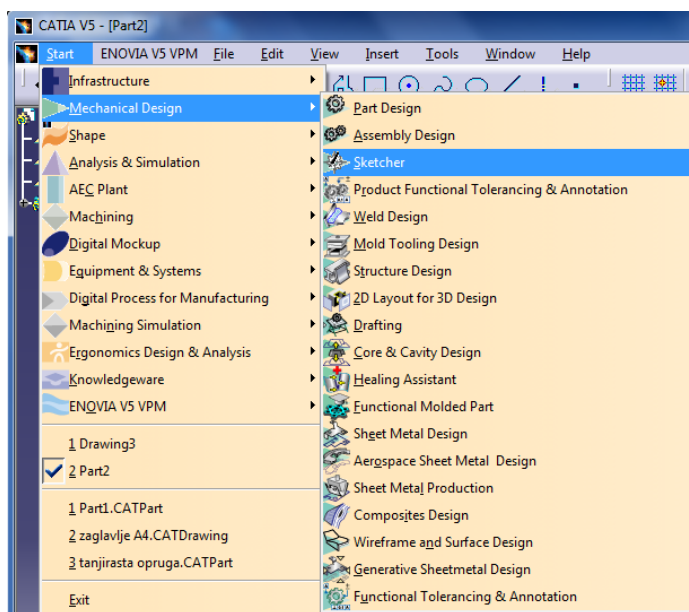
Слика 22. Покретање модула Part Desing



Слика 23. Задавање назива моделу.

Модул за скицирање може се, у основи, покренути на два начина. Први се односи на директан избор модула Sketcher из апликационог алата Mechanical Desing (слика 24).

Start → Mechanical Desing → Sketcher.

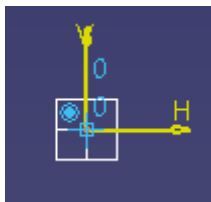


Слика 24. Избор модула за скицирање

То се чини у случајевима када се пројектовању производа приступа кроз креирање већег броја скица које ће се касније на различите начине користити приликом стварања 3D геометрије.

Други начин је далеко чешће примењиван. Наиме, модулу Sketcher приступа се из модула за моделирање делова Part Desing на следећи начин. Скице су дводимензионални (2D), равански објекти, па се њихово скицирање изводи у равни. Та раван може бити нека од системских равни (XY,YZ,YX), помоћна моделска форма типа равни. Тада се у корисничком окружењу изабере нека раван скицирања, (ткз.објекат) и зада команда за прелазак у модул Sketcher .

Скицирање је пожељно почети из координатног почетка, симетрично у односу на хоризонталну или вертикалну осу, или симетрично у односу на координатни почетак (слика 25).



Слика 25. Приказ координатног система скице

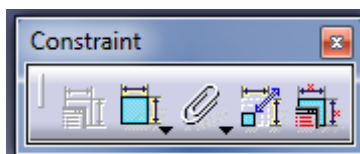
Приликом моделирања тањирасте опруге прво скицирамо њен полупресек(слика 28).

За цртање скице користимо команду из палете алата Profile → Line(слика 26).

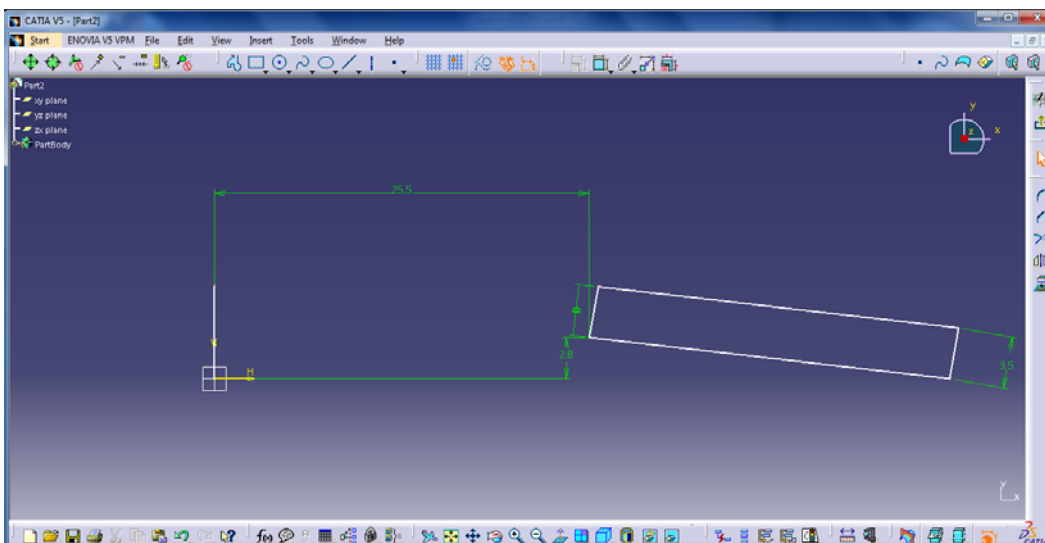


Слика 26. Палете алата за скицирање

Котирање се врши активацијом команде Constraint из палете [Constraint] (слика 27).



Слика 27. Палете алата за котирање



Слика 28. Приказ скицираног полупресека тањирасте опруге

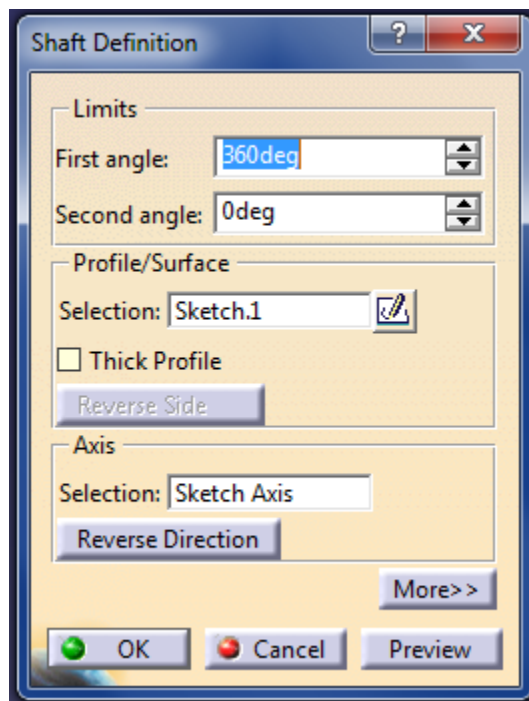
Креирана скица потпуно је дефинисана са 2 димензиона и 4 геометријска ограничења.

За моделирање ротационих делова потребно је нацртати осу око које ће се ротирати полупресек модела.

Изабрати команду за излазак из модула за скицирање Exit workbench .

Активирати команду Shaft .

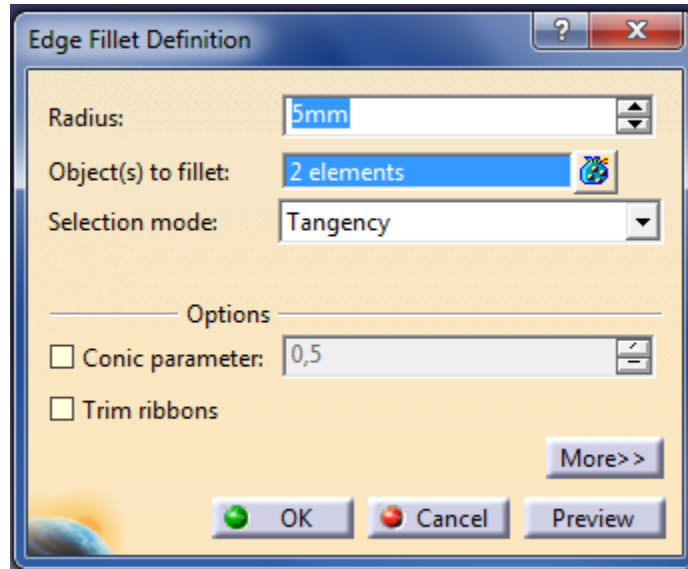
У оквиру прозора [Shaft Definition] потврдити већ понуђене параметре (слика 29). У пољу First angle аутоматски је унета вредност угла ротације 360° .



Слика 29. Приказ прозора Shaft Definition

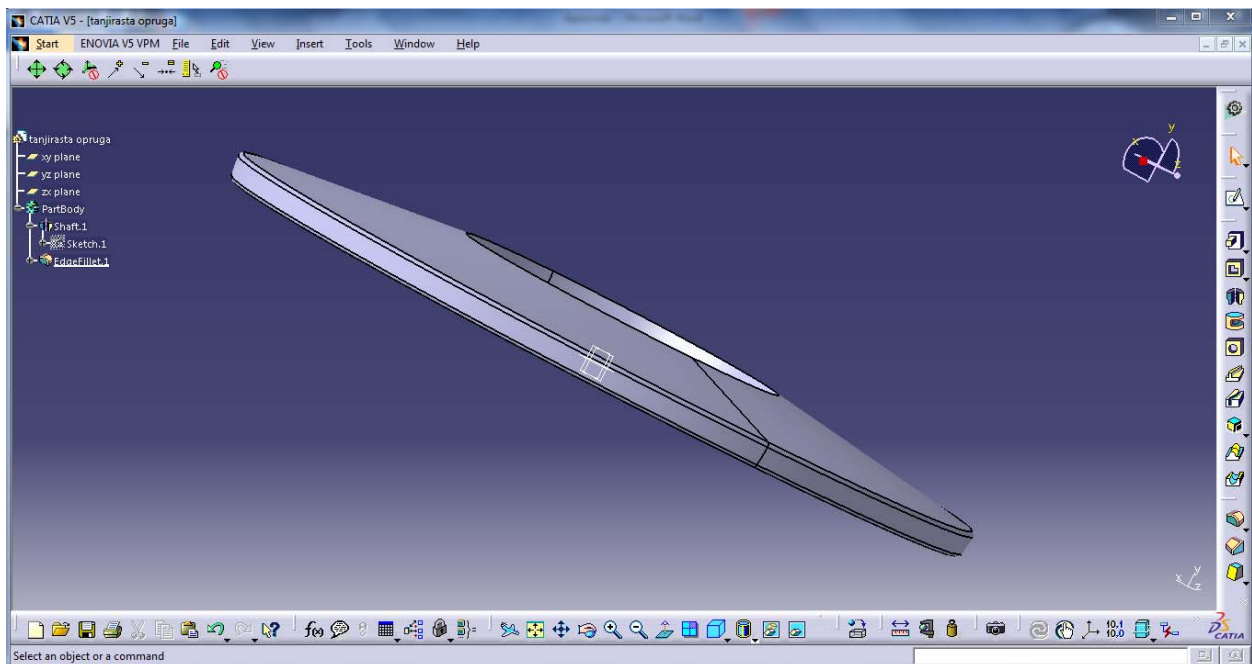
5.3.1 Заобљавање ивица

Заобљавање ивица се врши активацијом команде Edge Fillet . Изабрати кружне ивице и у оквиру прозора [Edge Fillet Definition] у пољу Radius унети вредност заобљавања ивице (0,5mm), а поље Object to fillet показује колико је ивица селековано (слика30). У зависности од конкретних захтева конструкције може се извршити заобљавање сваке ивице посебно.



Слика 30. Приказ прозора Edge Fillet Definition

Потврђивањем задатих вредности креира се моделска форма EdgeFillet.1.



Слика 31.Приказ модела тањирасте опруге.

5.3.2. Генерисање техничког цртежа

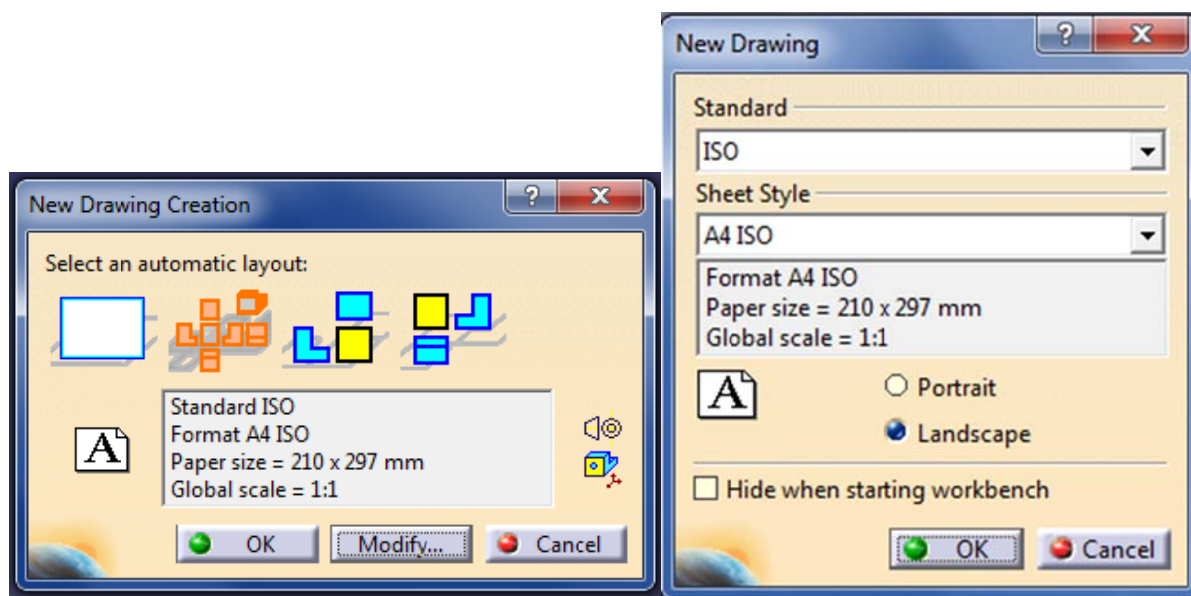
Технички цртежи у програмском пакету аутоматски се генеришу на основу модела производа. Карактеристика асоцијативности која одликује све савремене CAD софтвере значајно олакшава извођење модификација, како на моделима, тако и на цртежима. Наиме, свака промена учињена на моделу изазваће аутоматску корекцију цртежа, и обрнуто, уколико се модификује цртеж аутоматски ће бити измењен и модел.

Модул Drafting обезбеђује алате за генерисање укупне техничке документације, чији један сегмент чине технички цртежи.[5].

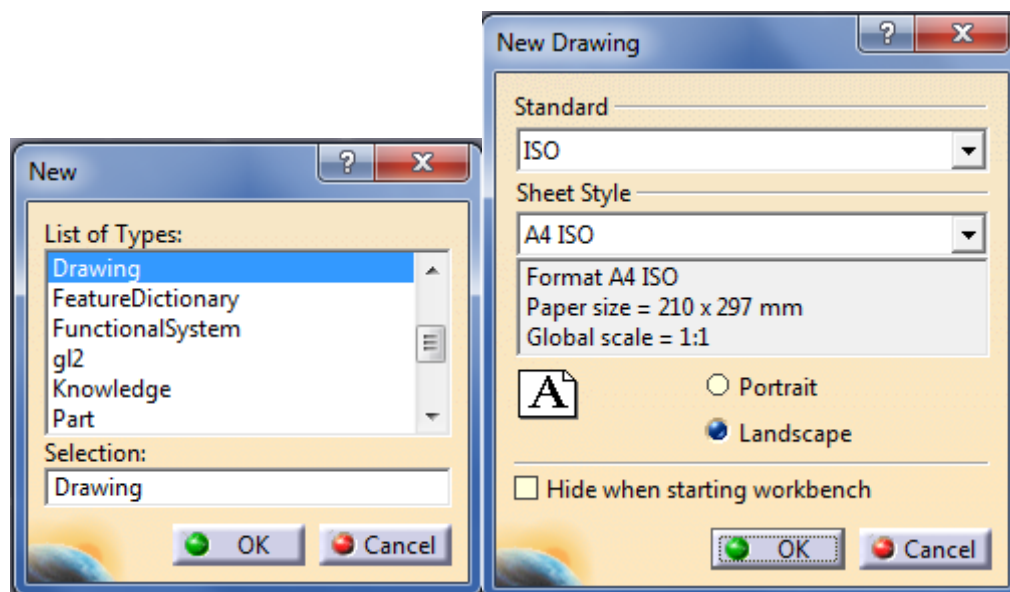
5.3.3. Поступак израде техничког цртежа

Активирање модула за генерисање техничке документације се састоји из:

- отварања модел дела за који се генерише технички цртеж (tanjirasta opruga.CAPTPart).
- Изаберемо Start→Mechanical Desing→Drafting (слика 32) или File→New...→Drawing (слика 33).



Слика 32. Избор модула за генерисање техничке документације

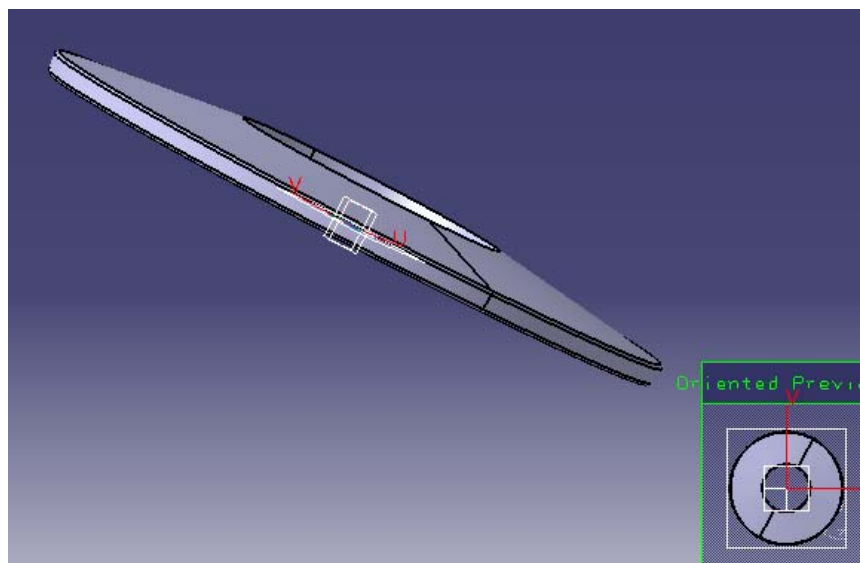


Слика 33. Покретање модула за генерисање техничке документације

На овај начин се може извршити избор стандарда, као и величине формата (напр. A4 ISO) на коме ће се генерисати довољан број изгледа (пројекција), детаља и осталих елемената цртежа.

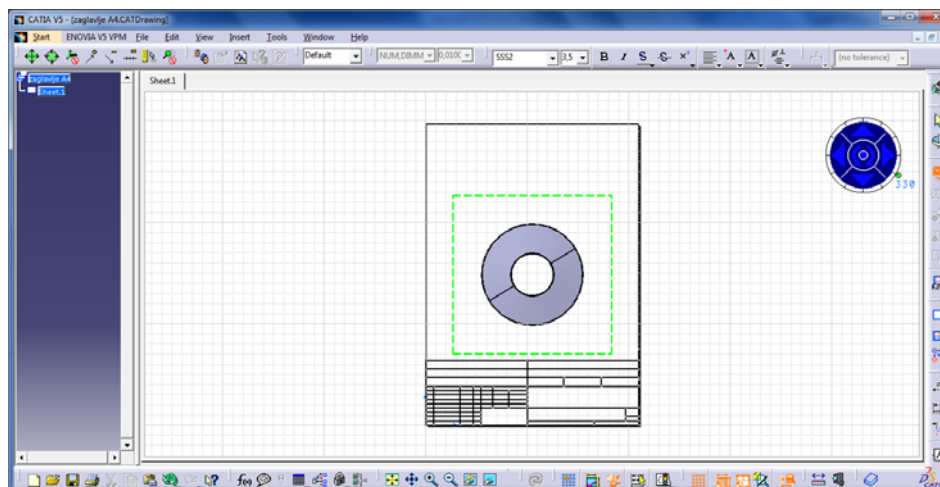
Оријентација формата A4 врши се избором понуђених опција (напр. Portrait).

Генерисање првог изгледа врши се активирањем команде Front View , чиме се од конструктора очекује да на моделу дела (отвореном у модулу Part Design) за који се генерише цртеж (слика 34) изабере одговарајући поглед на модел (најчешће централни, спреда или одозго). У овом случају поглед је одозго.



Слика 34. Избор централног дела

Избором одговарајућег погледа активира се компас модула за скицирање (у горњем десном углу), слика 35.



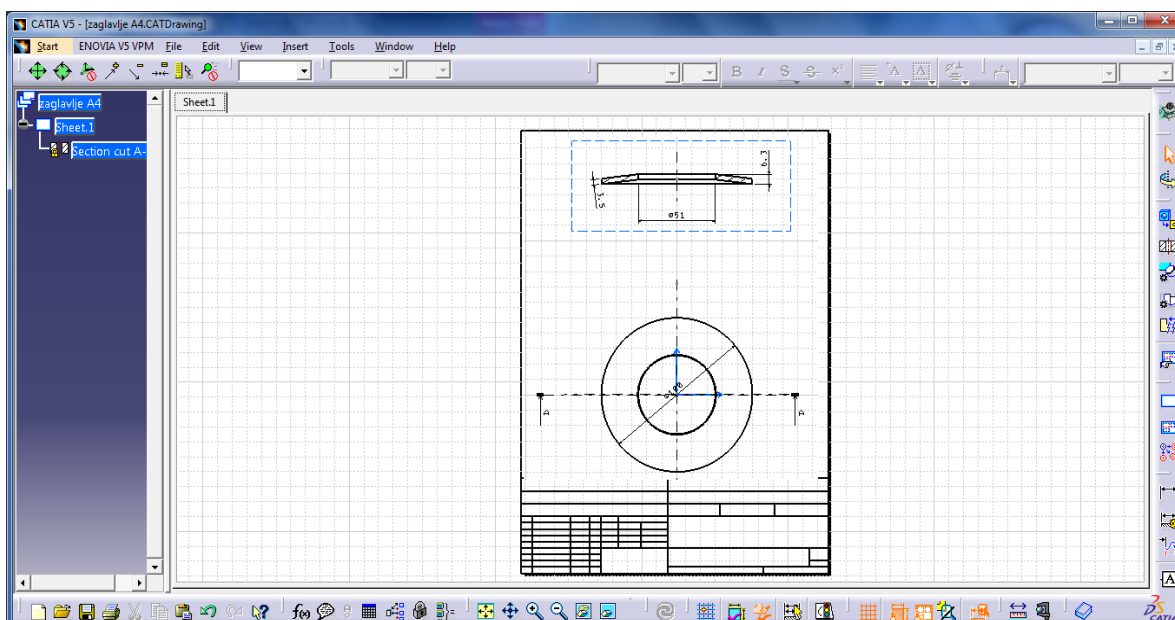
Слика 35. Прихватање централног изгледа

Ротација изабраног погледа у простору или равни врши се заокретањем зелене тачке на компасу или помоћу плавих стрелица.

Прихватање погледа, ради генерисања изгледа, врши се кликом на централну тачку компаса, или слободним кликом на окружење за генерисање елемената цртежа.

У индустријској пракси погодно је, кад год је то могуће, да формат цртежа буде тако изабран да сви изгледи буду генерисани у размери 1:1.

За генерисање пуног пресека коришћењем команде Offset Section view , покренуће се операција генерисања пресека на основу активног изгледа. Пресечна линија је у овом сличају хоризонтална (може бити и испрекидана или вертикална) и везана је за хоризонталну осу изгледа. Ова линија се у модулу PartDesing види у облику пресечне равни. Линија се завршава двокликом. Помрањем курсора са десне стране од основног изгледа и кликом на жељену позицију креира се пун пресек (слика 36). Едитовање и измена пресечне линије врши се двокликом на исту.



Слика 36. Генерисање новог изгледа (пројекције)

За истицање малих и слабо видљивих области активног изгледа користи се команда Detail View . Изабере се положај центра кружне области, а затим дефинише полупречник повлачењем миша. Генерише се детаљ чија је

размера два пута већа од размере цртежа за који се генерише детаљ; кликом се дефинише положај детаља у оквиру заглавља.

5.3.4. Генерисање кота

Генерисање кота пречника врши се активирањем команде за димензионисање

Diametar Dimensions , коте радијуса командом RadiusDimensions ,

дужне коте командом  и избором референтне линије и дефинисањем положај котног броја. На палети Tools Palette, могуће је трајно активирањепостављања котног броја паралелно са хоризонталном, вертикалном или косом линијом.

Поступак котирања оборених ивица састоји се од неколико активности:

Активирања команде за генерисање коте оборене ивице Chamfer Dimensions



, избора типа котирања који одговара националном стандарду и две котне стрелице, одређивања положаја котног броја и коте[5].

6.0. Закључак

Познато је да скоро свака машина, уређај или прибор у свом склопу садржи бар једну опругу. Без опруга се не може замислити рад аутомобила, мотора СУС, транспортних средстава, машина алатки, пољопривредних и текстилних машина, машина у домаћинству, часовника и многих других уређаја.

У овом раду је дата основна подела опруга и детаљно су обрађене тањирасте опруге. Тањирасте опруге се користе за пренос великих оптерећења при малом угибу (деформацијама). Оне се могу слагати, при чему више наслаганих тањирастих опруга чине опружни пакет, а наизменичним слагањем ових опруга или опружних пакета формира се опружни стуб. Тањирасте опруге се углавном користе у линеарном подручју деформација. Стандардом DIN 2093 прописане су димензије, толеранције и дозвољена оптерећења тањирастих опруга.

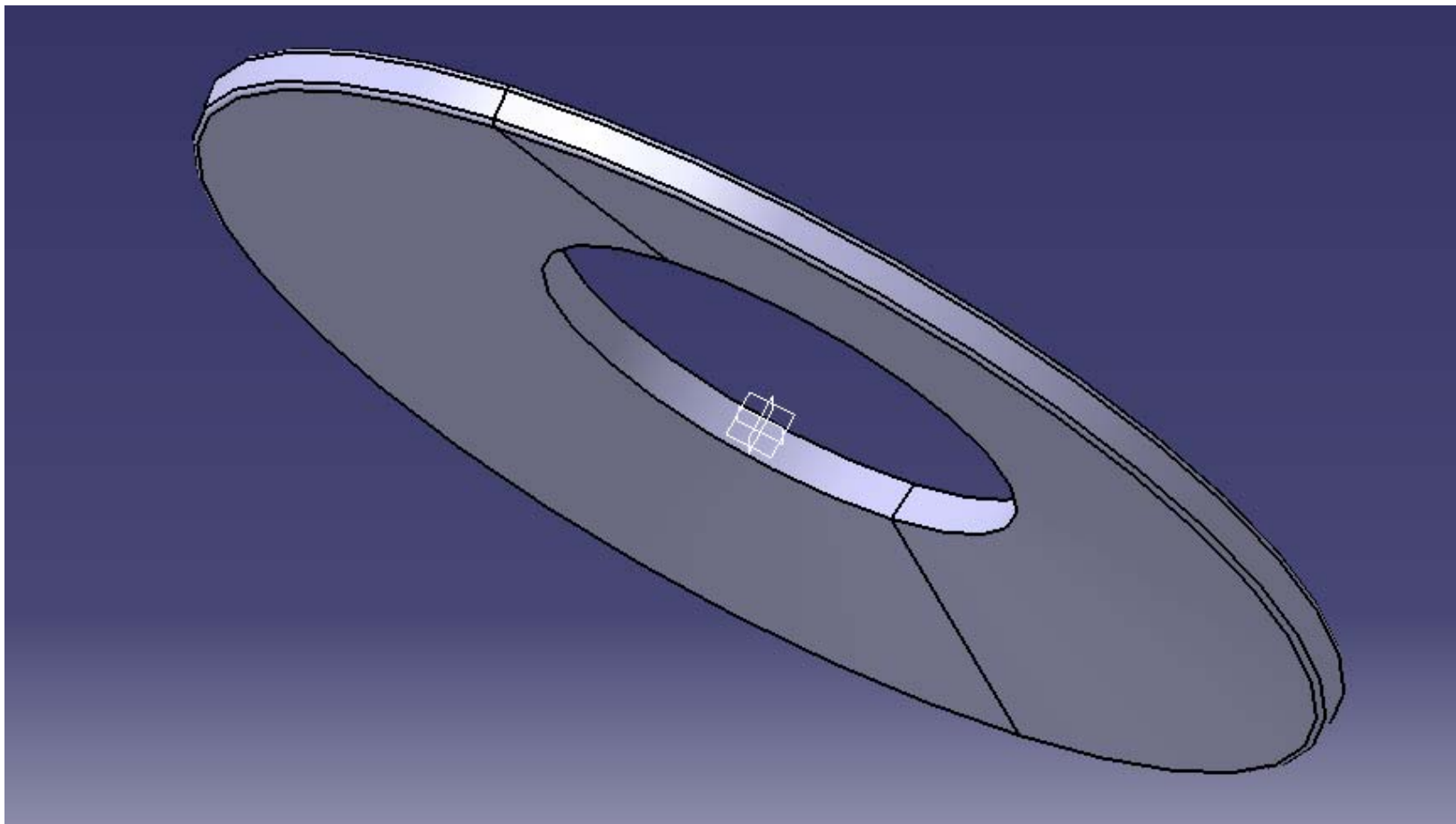
За правилно дефинисање најрационалнијег констуктивног решења тањирасте опруге веома је битан правилан избор материјала, прорачун, избор толеранција и др. Врло је важно добити функционалну опругу, уз минималне трошкове. Од материјала за тањирасте опруге се захтева добра еластичност, односно висока вредност границе еластичности, модула еластичности и модула клизања, затим добра динамичка издржљивост, задовољавајућа жилавост и добра пластичност.

Прорачун тањирастих опруга врши се у односу на статичке и у односу на динамичке услове.

7.0. Литература:

- [1] Николић В.: Машински елементи – теорија, прорачун, примери, Машински факултету Крагујевцу, 2004.
- [2] Милтеновић В., Огњановић М.: Машински елементи 3, Машински факултет Ниш, Београд, 1995.
- [3] Огњановић М.: Машински елементи, Машински факултету Београду, 2003.
- [4] Јовановић С.: Изучавање еластичних елемената укључно искључним механизмима фрикционих спојница, магистарски рад, Машински факултету Крагујевцу, 1998.
- [5] Девеџић Г. Ћуковић С. Петковић С. Максић Ј.: 3Д Моделирање производа – Методична збирка задатака, Крагујевац, 2009.
- [6] Каталог опруга – Фенор, Нова Рача

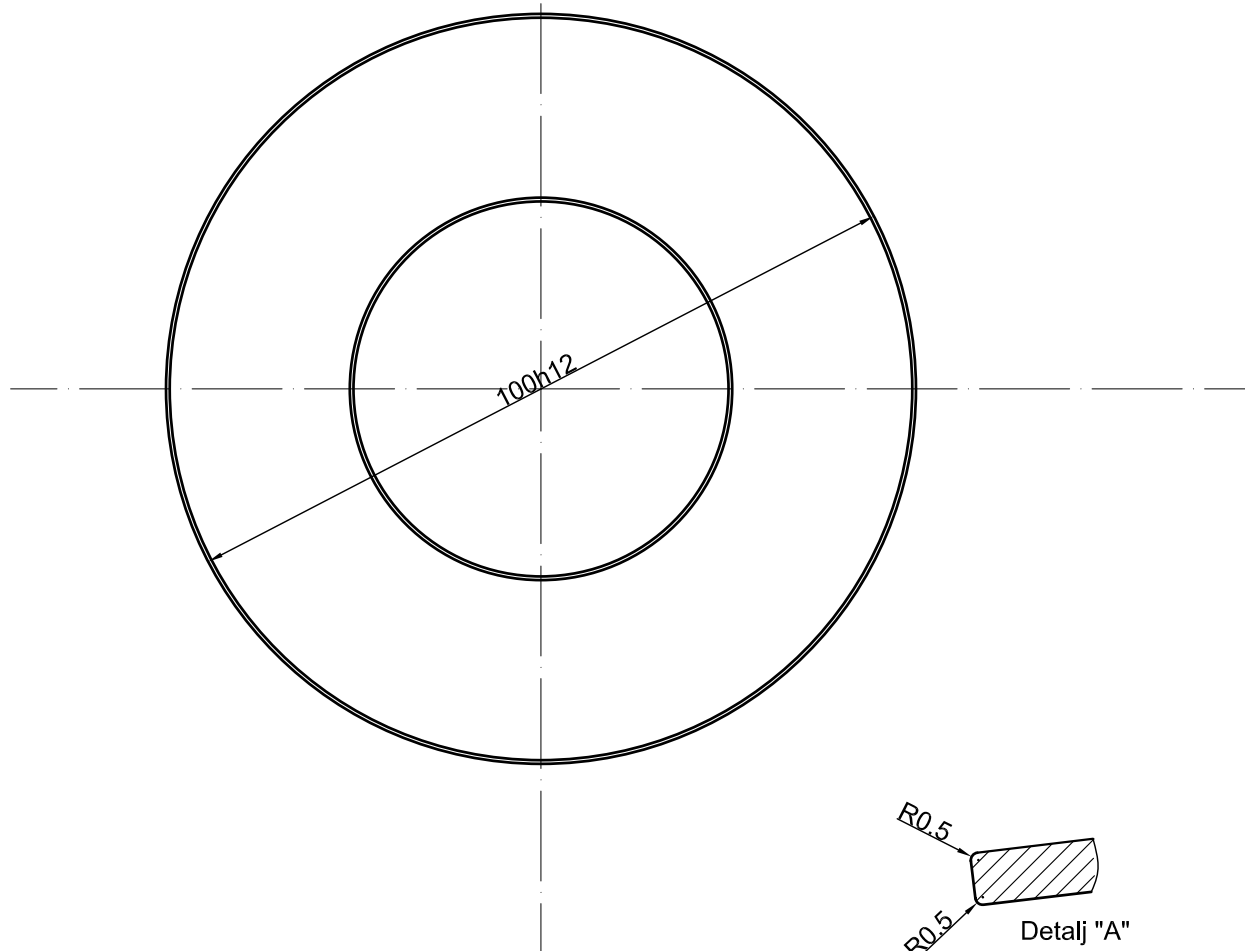
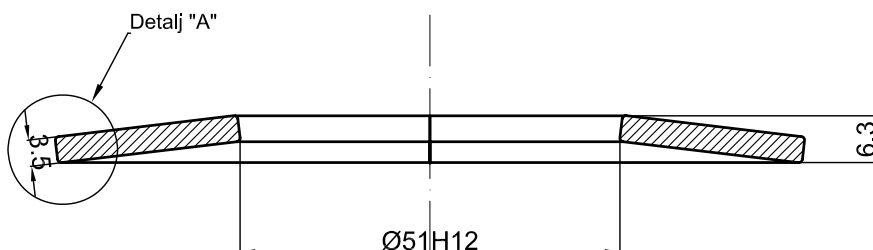
Прилог



Модел тањирасте опруге

3.5	+0.06
	-0.07
6.3	+0.15
	-0.05

N8



tolerancija slobodnih mera				povrsinska hrapavost		povrsinska zastita					
						termicka obrada					
						C 4308	masa	razmera			
				datum	naziv TANJIRASTA OPRUGA						
				obra					Dimitrijevic		
									Aleksandra 33/2003		
				stan							
				odob.							
				Fakultet inzenjerskih nauka Kragujevac		oznaka P.1.04		List			
								L			
St.j	datum	izmene	ime			izv. pod					