

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Моторна возила и мотори

Предмет: Конструкција и прорачун моторних возила

Број индекса: 9/2008

Јанко С. Ђурђевић

Тањираста опруга фрикционе спојнице

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Јасна Глишовић, доцент - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да

- Детаљно опише улогу, тј. задатак главних фрикционих спојница на возилу
- Прикаже основне елементе спојнице
- Опише главне опруге спојнице, њихове карактеристике, предности и недостаци
- Укаже на врсте тањирастих опруга на тржишту
- Изврши прорачун неразрезане и разрезане тањирасте опруге

Препоручена литература:

[1] Јанићијевић, Н., Јанковић., Д., Тодоровић Ј.: Конструкција моторних возила, Машински факултет, Београд, 1991, ИСБН 86-7083-175-9

[2] Филиповић И., Мотори и моторна возила, Машински факултет универзитета у Тузли, Тузла 2006

[3] Handbook for Disc Springs, Schnorr Corporation, 2003

[4] DIN 2092, Disc Springs – Calculation, STANDARD by Deutsches Institut Fur Normung E.V. (German National Standard), 03/01/2006

Крагујевац, 01.07.2014

ментор:

Др Јасна Глишовић, доцент

Резиме

Циљ овог завршног рада је упознавање са основним карактеристикама главних опруга фриксионе спојнице, са акцентом на тањирасту опругу, као и њен прорачун на основу датих димензија. У раду су анализиране основне врсте тањирастих опруга, као и њихова примена на возилима и основни задаци. Описани су елементи и приказан је прорачун угиба на месту дејства потисног лежаја.

Кључне речи: тањирасте опруге, фриксиона спојница

ABSTRACT

The aim of this paper is a basic introduction to the main spring of the friction clutch, with emphasis on the diaphragm spring and its calculation and design based on the given dimensions. The basic types of Belleville springs, as well as their application in vehicles and basic tasks are analysed in this paper. The elements and calculation of the deflection of spring in place of thrust bearing are described.

Key words: diaphragm springs, friction clutch

Садржај:

1 Увод.....	5
1.1 Задатак главних фрикционих спојница на возилу.....	5
1.2 Класификација и принцип рада фрикционих спојница.....	10
2 Основни делови и конструкцијске карактеристике.....	17
2.1 Задатак, конструкција и функција.....	20
3 Главне опруге спојнице, карактеристике.....	23
3.1 Карактеристике опруга.....	23
3.2 Завојне торзионе опруге.....	24
3.3 Тањираста (флексијска) савојна опруга.....	25
3.4 Тањирасте опруге.....	27
4. Врсте тањирастих опруга.....	35
4.1 Комбинација тањирастих опруга.....	35
4.2 Разрезана тањираста опруга.....	40
4.3 Пример.....	45
5. Закључак.....	47

1. Увод

Спојница је механизам који служи за спајање два машинска елемента или агрегата. Осим главне улоге да преносе обртни момент од мотора ка трансмисији, спојница код моторних возила извршава и низ других важних задатака као што су одвајање мотора од трансмисије и поновно спајање, омогућавање равномерног поласка возила с места, убрзавање возила и омогућавање промене степени преноса за време кретања возила уз минималне ударе зуба зупчаника. Карактер појава које се јављају као последица промене степена преноса показује да се ударно оптерећење на зубе зупчаника у мењачу може смањити 30 до 50 пута, ако се између мотора и мењача постави фриксиона спојница. Помоћу спојнице са остварује равномерно покретање возила с места [1].

Добро конструисана спојница мора имати следеће особине:

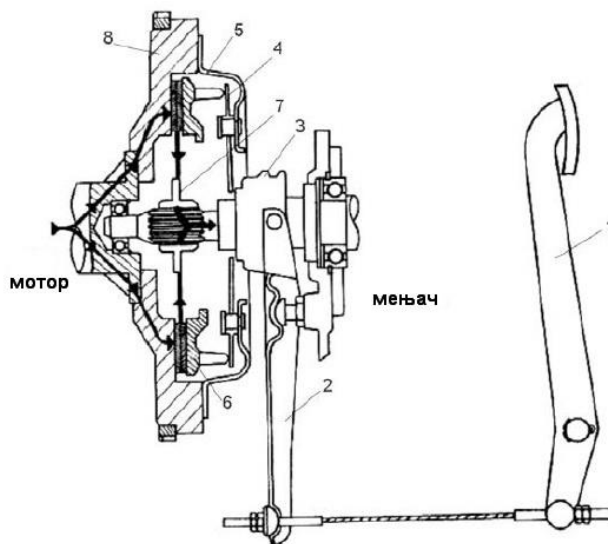
- да потпуно искључи, односно одвоји мотор од трансмисије, да би се приликом укључења спојнице могао предати најповољнији обртни момент на водеће точкове;
- да омогући равномерно укључивање, како би момент трења могао постепено да се повећава;
- да омогући брз одвод топлоте, која се јавља на површинама трења приликом проклизавања, како у време укључивања спојнице, тако и приликом преоптерећења;
- да гоњени делови спојнице имају што мањи момент инерције;
- да омогући аутоматизацију процеса укључивања и искључивања.

1.1 Задатак главних фриксионих спојница на возилу

Спојнице које за пренос обртног момента користе механичко трење, највише су у употреби на моторним возилима. До двадесетих година овог века су у употреби биле конусне спојнице. С појавом мотора већих снага и бројева обртаја, овај тип спојница морао је бити избачен, због озбиљног недостатка који се састојао у наглном (ударном) укључивању које је изазвала сила паралелна конусним површинама, а чији је смер био ка погонском делу спојнице. У данашње време, на возилима са степенастим зупчастим мењачима примењују се ламеласте спојнице, и то углавном са једном ламелом (диском). Рад ламеласте спојнице заснован је на коришћењу сила трења које се јављају међу фриксионим површинама. Површине које врше пренос обртног момента деле се на погонске и гоњене. Погонски делови спојнице су везани за замајац мотора и обрћу се заједно с њим. Гоњени делови спојнице везани су за спојничко вратило мењача. Ако се погонски делови спојнице споје са гоњеним деловима, тада се остварује пренос обртног момента од мотора ка мењачу, тј. на спојничко вратило мењача. Равномерност укључивања постиже се проклизавањем површина погонских и гоњених делова спојнице, када се постепено приближавају једни другима. Трење међу површинама погонских и гоњених елемената спојнице мора бити такво да омогућава пренос обртног момента, што условљава величину фриксионих површина и коефицијент трења, те према томе и одговарајући фриксиони материјал. Замајац мотора је са своје унутрашње стране глатко обрађен и служи као површина за налагање средишње фриксионог диска са облогама (ламеле). Осим тога замајац служи као кућиште спојнице. Фриксиони диск је преносни елемент спојнице и он својом главчином формира помичну спојницу са жљебовима

спојничког вратила. Спојничко вратило је са једне стране ослоњено у лежишту које се налази у кућишту мењача, а са друге стране у лежишту клизном или кугличном, које се налази у замајцу. Иза ламеле се налази потисна плоча која је потискивана опругама, које су ослоњене са једне стране на потисну плочу а са друге на кућиште спојнице. Притиском ових опруга остварује се притисак потисне плоче на ламелу, а ламеле на замајац, те се на тај начин врши пренос обртног момента. У току вожње постоји сталан притисак потисне плоче на ламелу, тј. спојница је стално укључена. Механизам за искључивање спојнице састоји се од: педале спојнице, искључивача са потисним лежајем и три или четири двокраке полуге на којима се налазе завртњи за подешавање зазора између тих полуга и потисног лежаја.

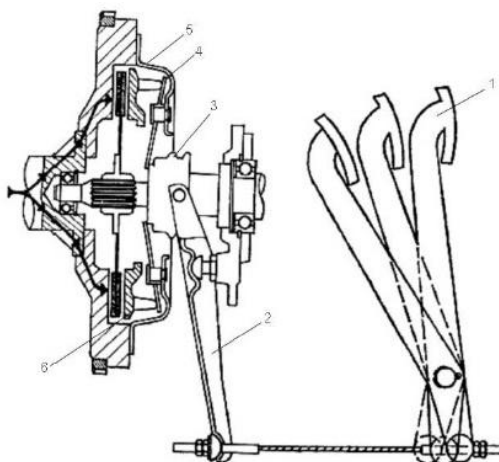
На сликама 1.1 и 1.2 дат је шематски приказ рада ламеласте спојнице. На овим сликама су дате упрошћене шеме спојница са једним диском, како би се могао боље разумети рад спојнице.



Слика 1.1. Шематски приказ рада ламеласте спојнице [1]

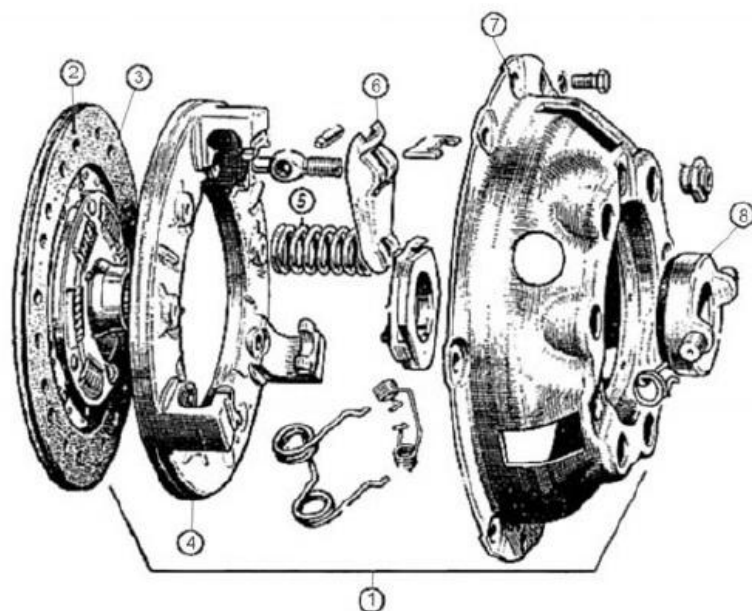
1 – папучица спојнице; 2 – искључна виљушка; 3 – потисно лежиште; 4 – жабица спојнице (потисна опруга); 5 – звоно спојнице; 6 – потисна плоча; 7 – диск спојнице; 8 – замајац

Притиском ноге на папучицу спојнице (1) преко искључне виљушке (2) потискује се аксијално потисно лежиште (3). Исто дејствује на жабице спојнице (4) које имају улогу полуге улежиштене у звоно спојнице (5). Спојница се обично реализује са по 3 жабице распоређене по обиму. Жабица спојнице је својим другим крајем повезана са потисном плочом (6) коју у процесу искључивања спојнице повлачи, савлађујући силу у потисним опругама спојнице, и на тај начин се ослобађају фрикционе површине од оптерећења. Пуштањем папучице спојнице аксијална сила потисних опруга спојнице потискује потисну плочу (6) па је трансмисија поновно повезана са погонским агрегатом.



Слика 1.2. Шематски приказ процеса искључивања спојнице [1]

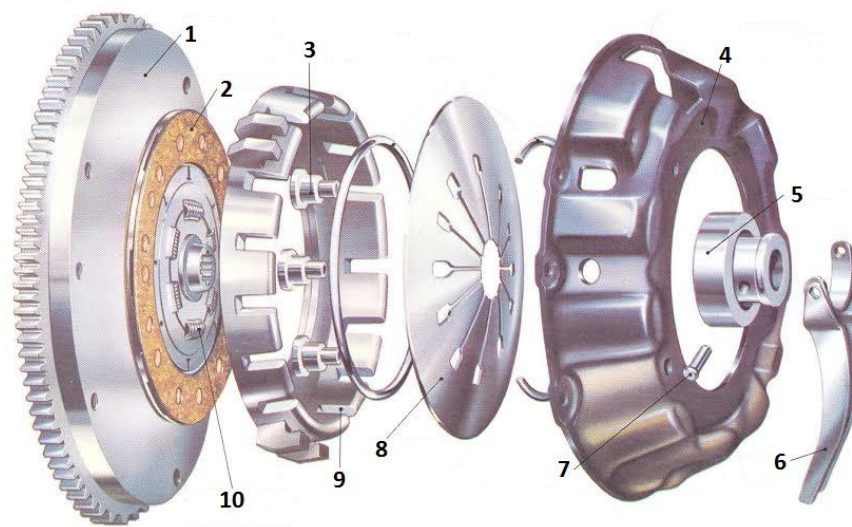
На слици 1.3 приказан је аксонометријски поглед главних делова уобичајене конструкције спојнице за аутомобиле. За ову конструкцију примењене су завојне опруге као потисне опруге, док су жабице спојнице (6) (искључне полуге) посебно изведене. [1]



- 1 – спојница,
- 2 – преносна плоча,
- 3 – облога преноса плоче,
- 4 – потисна плоча(нападно тело),
- 5 – потисна опруга спојнице,
- 6 – жабица спојнице,
- 7 – звоно мењача (спојнице),
- 8 – потисно тежиште спојнице

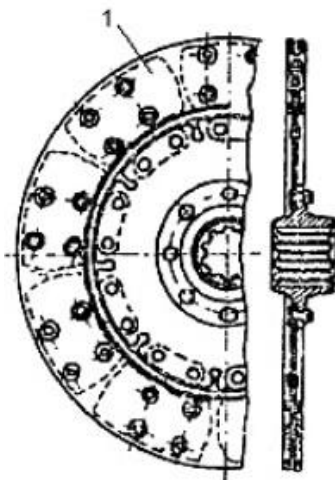
Слика 1.3. Аксонометријски поглед главних делова уобичајене конструкције спојнице [1]

Ламеласте спојнице су обично такве конструкције, да су стално укључене, а искључују се само онда када се врши промена степена преноса у мењачу. Обзиром на то, да се захтева, да захват спојнице буде што еластичнији (равномерно укључивање), а ламела је тај елемент који треба да оствари ту еластичност – то је ламела у току развоја моторног возила претрпела знатне промене у конструкцији. Једна од првих конструкција је крута ламела, код које је средишња плоча (ламела) закивцима спојена са главчином ламеле у чврсту (круту) везу. Једина еластичност код ове ламеле је у проклизавању између фрикционих површина, при чему се један део енергије претвара у топлоту.



Слика 1.4. Аксонометријски поглед главних делова конструкције спојнице са тањирастом опругом: 1- замајец, 2- преносна плоча, 3- клинови који омогућавају савијање тањирасте опруге, 4-звон мењача, 5- потисни лежај, 6- искључна виљушка, 7- осовиница потисног лежаја, 8- тањираста опруга, 9- потисна плоча, 10- торзионе опруге

Честе промене степена преноса у мењачу, а нарочито у густом градском саобраћају захтева повољнију конструкцију ламеле. Један од начина обезбеђења равномерног укључивања спојнице је да се ламела у растерећеном стању изведе у облику веома благог конуса (средишња плоча је еластична). При равномерном потиску притисних опруга потисне плоче, потисна плоча потиска ламелу ка замајцу, али она у првом моменту не улази у захват целом површином. Даљим притиском притисних опруга потисне плоче долази до постепеног исправљања ламеле што значи да она улази у захват са замајцем и потисном плочом постепено (у радијалном правцу). Равномерност приликом укључивања постиже се такође при примени средишње плоче са сегментима који нису у истој равни (сл.1.5). Сегменти (1) причвршћују се закивцима за главчину ламеле, а на сегменте се заковицама причвршћују фриксионе облоге. Приликом укључивања спојнице површина трења ламеле улази у захват са замајцем и потисном плочом неједноремено. Услед повећаног притиска потисне плоче (услед дејства притисних опруга потисне плоче) долази до исправљања (деформације у аксијалном правцу) еластичних сегмената на које су причвршћене фриксионе облоге што повећава равномерност укључивања [1].



Слика 1.5. Средишња плоча са сегментима који нису у истој равни [1]

Најчешће употребљавана конструкција ламеле је еластична ламела са пригушивачем (сл. 1.6). Ова ламела разликује се од ламеле са еластичним сегментима по томе што се главчина спојнице за средишњу плочу спаја преко завојних опруга (пригушивача) које су тангенцијално распоређене у процепима како средишње плоче тако и плоче на којој се налази главчина [1].



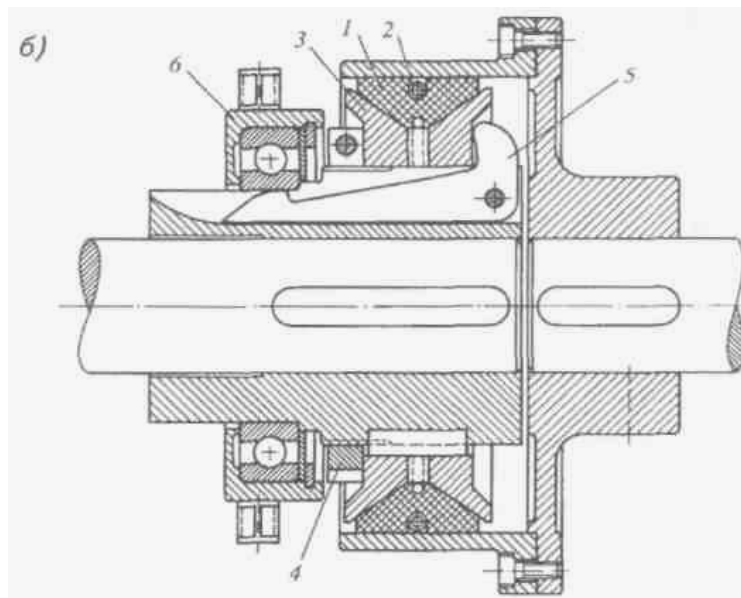
Слика 1.6. Еластична ламела са пригушивачем [1]

При захвату ламеле у спрег са замајцем мотора преко својих фрикционих облога обртни момент се преноси са диска, преко опруга које се еластично супротстављају преносу обртног момента, на главчини. Због оваквог пригушења при преносу обртног момента добије се веома мекан (безударан) пренос обртног момента на спојничко вратило. Код мотора великих снага потребно је пренети релативно висок обртни момент при високом броју обртаја уз услов да спојница задржи мали габарит. Да би спојница задржала мале димензије и да би била у стању пренети велик обртни момент конструисана је фрикциона спојница са две ламеле. У односу на једноламеласту спојницу спојница са две ламеле има још једну потисну плочу и ламелу, те се на тај начин двоструко повећава површина трења.

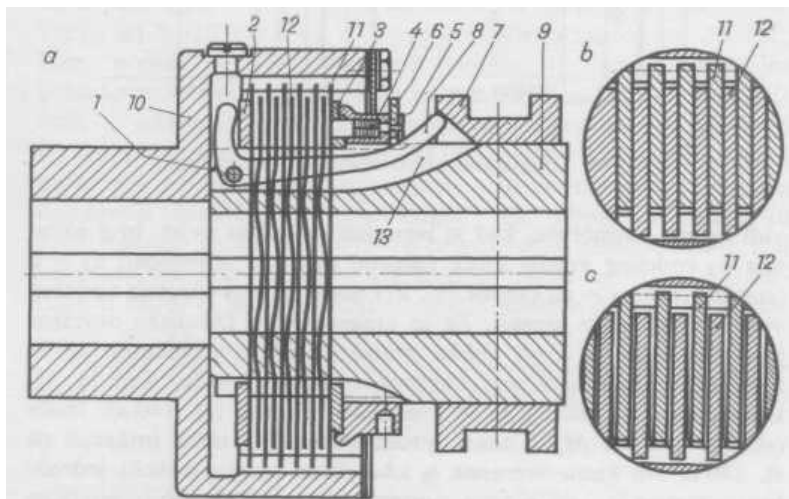
Повећана површина трења омогућава пренос већег обртног момента. Како је повећана фрикциона површина, то и притисак опруга потисне плоче мора бити већи, што често захтева употребу серво – командног уређаја за укључивање и искључивање спојнице, пошто сила коју возач остварује притиском ноге може бити недовољна [1].

1.2 Класификација и принцип рада фрикционих спојница

Фрикционе спојнице као механички склопови преносе момент торзије на рачун сила трења на радним површинама и омогућавају укључивање у току рада без посебних мера предострожности. Класификација фрикционих спојница се може извршити у односу на различите параметре као што су облик површине трења, услови рада, начин остварења нормалне силе између површина трења, положај при одсуству командног сигнала, начин управљања, број површина трења итд [2].



Слика 1.7 Фрикциона спојница са фрикционим прстеном: 1) фрикциони прстен, 2) опруга, 3) конусни дискови, 4) навртка, 5) угаона полуга, 6) објумица [2]



Слика 1.8. Фрикциона спојница са фрикционим ламелама: 1) клин зглоба; 2), 3) притисне плоче, 4) поставна навртка, 5) сигурносни клин, 6) сигурносна плочица, 7) покретни прстен, 8) полука, 9) вођена главчина, 10) водећа главчина, 11) спољашње ламеле, 12) унутрашње таласасте (синусне) ламеле, 13) простор за полуку [2]

У односу на облик површине трења фрикционе спојнице се деле на:

- спојнице са ламелама (дискосне),
- коничне,
- спојнице са папучом (добошасте).

Према условима рада разликујемо:

- суве,
- уљне.

У односу на начин остварења нормалне силе између површина трења могу се издвојити следеће врсте спојница:

- опружне,
- полуцентрифугаоне,
- центрифугаоне и
- са електромагнетном потисном плочом.

С обзиром на положај при одсуству командног сигнала фрикционе спојнице могу бити:

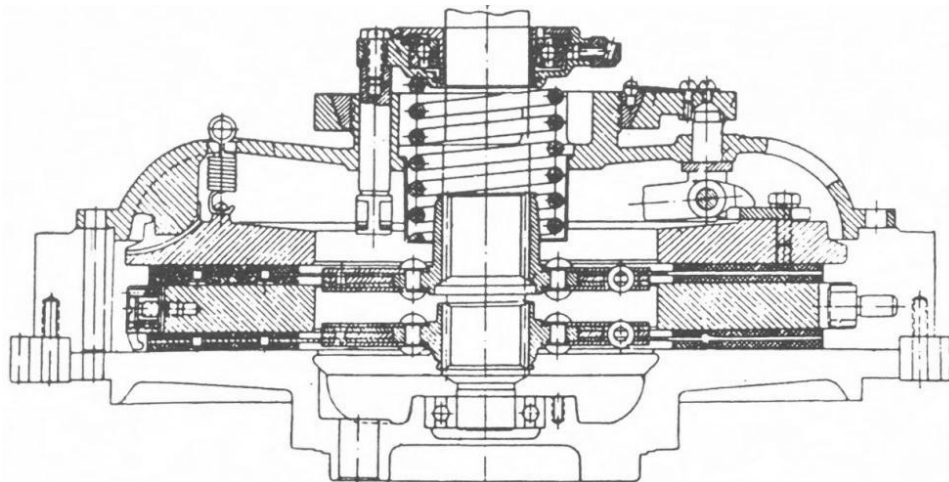
- стално укљученог типа и
- стално искљученог типа.

Према типу управљања може се извршити подела на:

- фрикционе спојнице са принудним управљањем и
- фрикционе спојнице са аутоматским управљањем.

Према броју површина трења фрикционе спојнице могу бити са две или више површина трења, односно са једним или више дискова ако је реч о дискосним спојницама. Фрикционе спојнице преносе обртни момент од водећег вратила ка вођеном уз помоћ сила

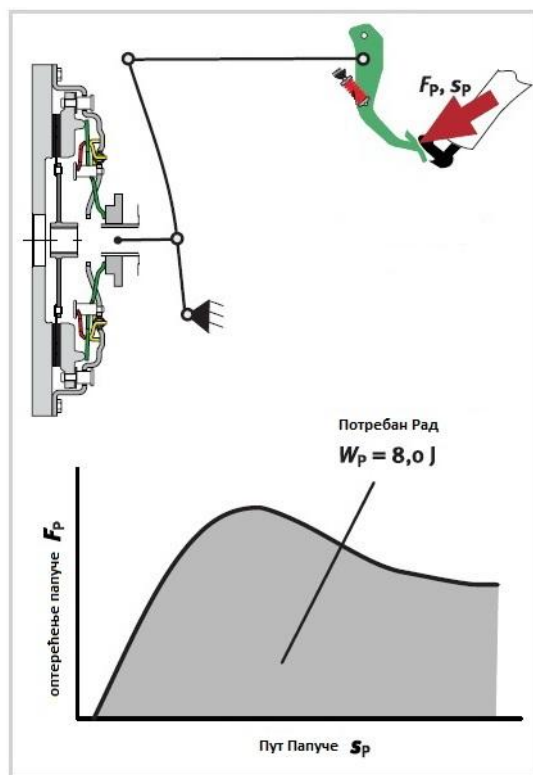
трења, које се стварају на контактним површинама делова спојнице преко којих се остварује функција спајања. Укључивање спојнице врши се приљубљивањем, једне уз другу, наведених површина, а искључивање њиховим раздвајањем. Равномерно укључивање спојнице омогућава да се избегну велика динамичка оптерећења и шум приликом пуштања у рад. Фрикционе спојнице нису погодне у случајевима када се захтева прецизно поклапање угаоних брзина спрежућих вратила јер се при случајном проклизавању спојнице ови услови нарушавају. Управљање спојницама може бити полужно (или полужно – брежно), хидраулично, пнеуматско и електромагнетно [2].



Слика 1.9. Конструкцијско извођење спојнице са два фрикциона диска [10]

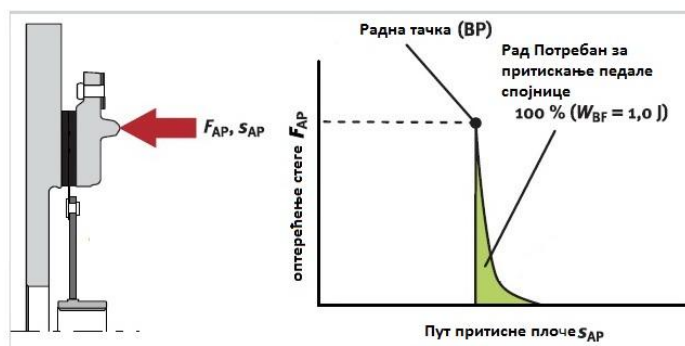
Када су оптерећења спојница већа и услови рада тежи примењују се дисковне опружне фрикционе спојнице, спојнице са два или више дискова. Конструкцијска извођења ових спојница, (слика 1.9), у основи су иста као и оних са једним диском само што ових има више. Најчешће се наилази на конструкције са два диска. Са повећањем броја дискова повећава се наравно, број потисних плоча. Поред тањирасте опруге, за остваривање нормалне силе користи се и централно постављена завојна опруга.

У погледу ергономије и удобности, било која количина рада која се захтева од возача је у супротности са његовим жељама. За разлику од аутоматске трансмисије овај рад се не може избећи код мануелних мењача, јер возач мора да буде у могућности да врши контролу обртног момента између мотора и трансмисије, а ово управљање је подржано, у одређеној мери, његовим радом. Рад који се захтева од возача на педали спојнице је између 6 и 12J (средња вредност без трења). Као илустрација, на слици 1.10 је приказана промена оптерећење командне папуче спојнице у функцији пута папуче при остваривању обртног момента од 300 Nm и ово решење захтева радо од 8 J [11].

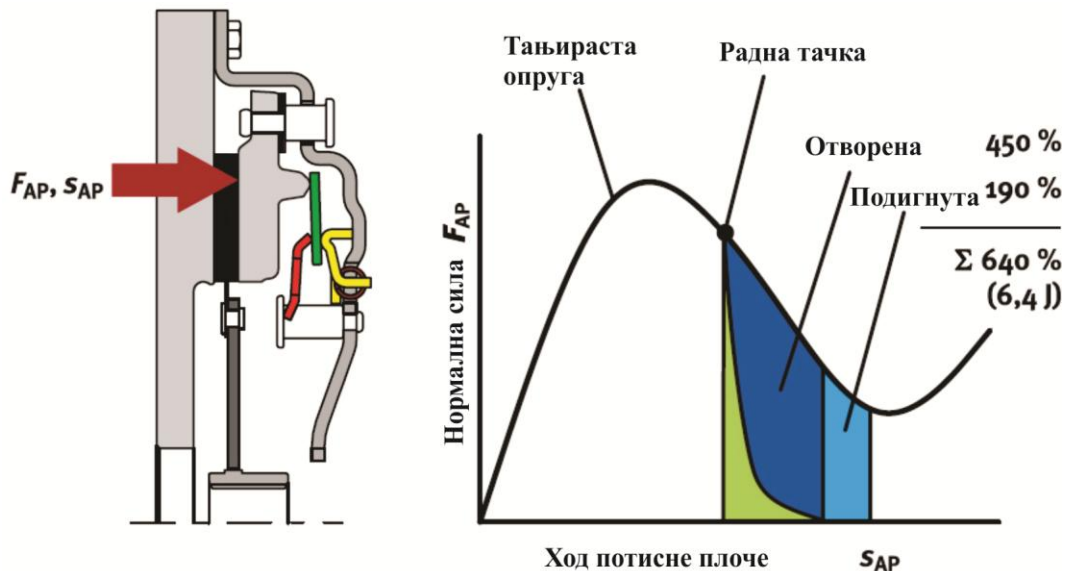


Слика 1.10. Вршење рада на педалу спојнице при обртном моменту од 300 Nm

Рад потребан за сабијање опруге одговара области испод карактеристичне криве опруге и сматраће се 100% референтом вредношћу. При 300 Nm обртног момента мотора, за овај рад је потребан 1J. Овај рад је неопходан како би возач могао да коригује обртни момент који се преноси спојницом. Због тога фрикциони диск спојнице не сме да буде бесконачно крут, у супротном би био могућ само дигитални трансфер обртног момента (Слика 1.11) [11].



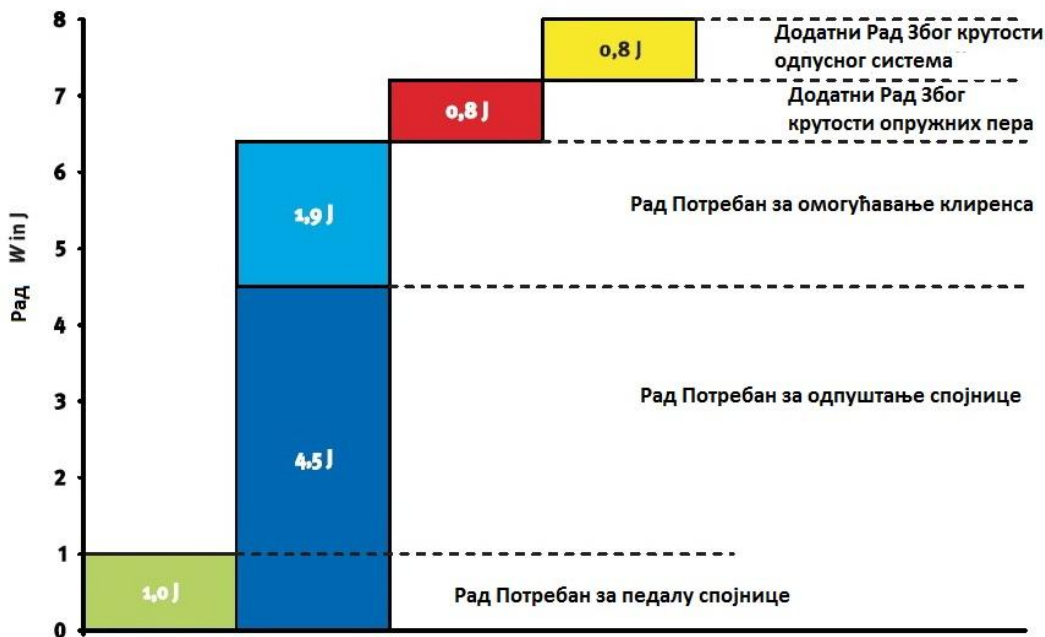
Слика 1.11. Пренос обртног момента при притискању педале спојнице



Слика 1.12. Рад потребан за искључивање фрикционе спојнице [11]

У случају уобичајених решења спојнице, карактеристична крива тањираста опруга је заравњена како би се се спречило повећање рада током радног века спојнице. Као резултат механизма за подешавање осетљивог на оптерећење, радна тачка остаје приближно константна, што знатно може да смањи потребан рад до око 640% (слика 1.12) без значајног повећања током радног века.

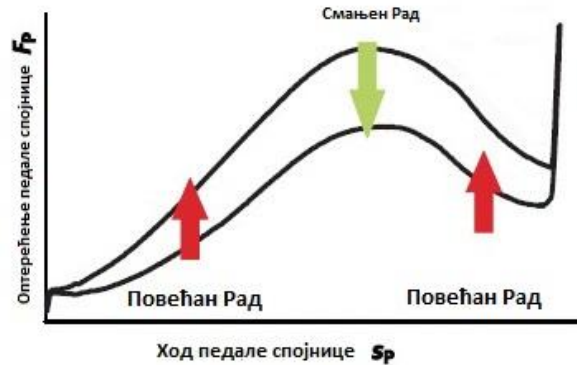
Како је приказано на слици 1.13, половина губитака је на крутост опружних пера, због којих је потребно 10% више рада остварити на педали спојнице.



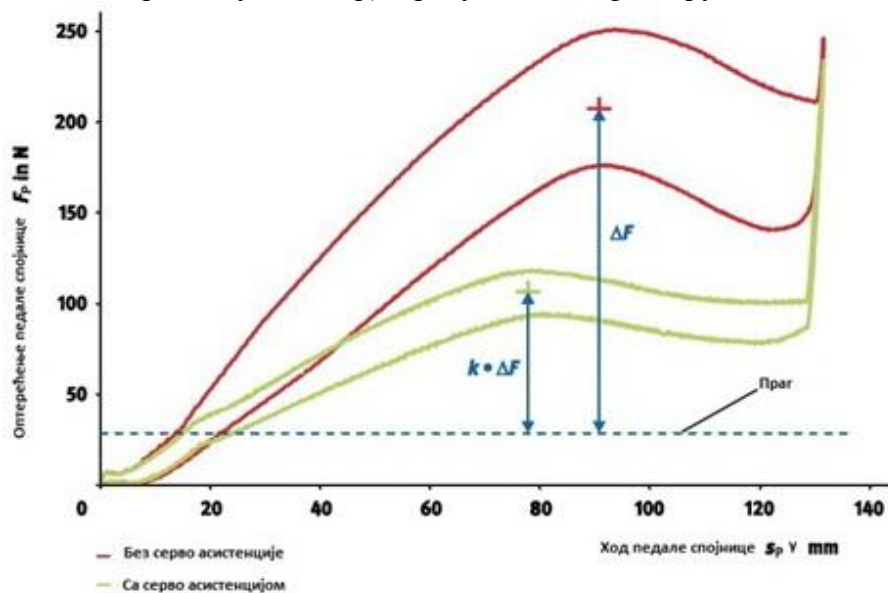
Слика 1.13. Утрошак енергије на притискање педале спојнице [11]

1.2.1 Распредела рада

Смањен Рад

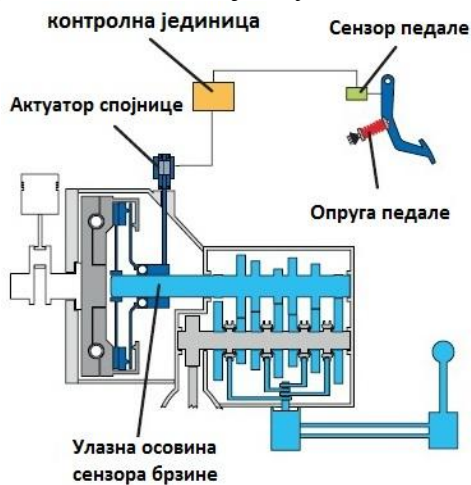


A graph of a function on a coordinate plane. The x-axis is labeled from 0 to 4, and the y-axis is labeled from 0 to 250. The function is represented by a red curve that starts at the origin (0,0), rises to a peak at (2, 250), and then falls towards a vertical asymptote at x=3. The curve is concave down throughout its visible range.



1.2.3 Систем активирања спојнице „преко жице“

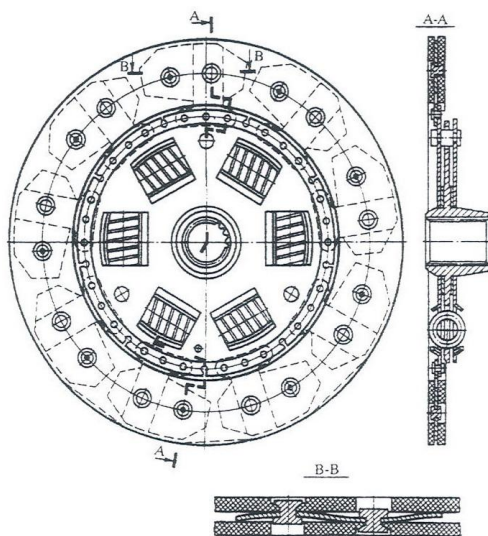
Код модерних аутомобила не постоји механичка веза између педале гаса и мотора, већ се контрола врши преко сензора који се налази на педали гаса и који прати притискање педале гаса и тај сигнал шаље преко контролне јединице до актуатора који извршава команду. Овај принцип је примењен и на спојницу.



Слика 1.16 Шематски приказ рада система спојница преко жице [11]

2. Основни делови и конструкцијске карактеристике

Основни делови ове врсте фрикционих спојница су фрикциони диск, потисна плоча, главне опруге, полуге за искључивање и поклопац. Фрикциони диск се обично састоји од главчине, диска са фрикционим облогама и пригушивача торзионих осцилација [2].



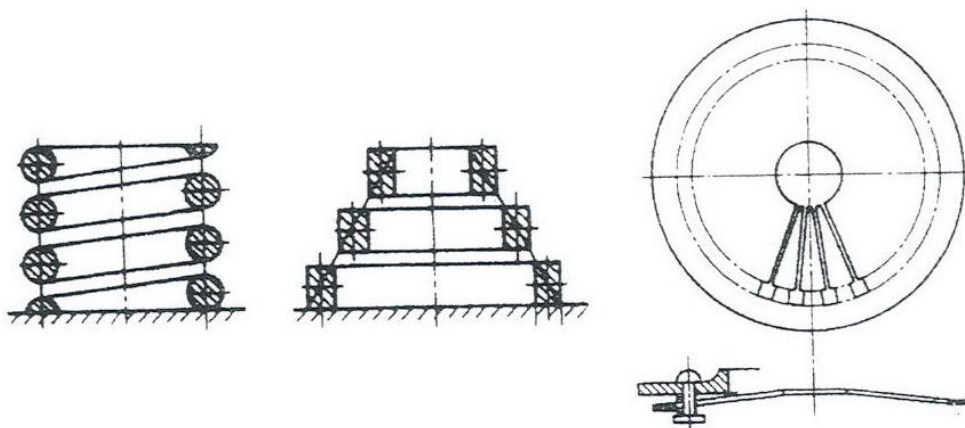
Слика 2.1. Приказ попречног пресека фрикционог диска [2]

Да би се преносник снаге и мотор заштитили од резонантних угаоних осцилација са учестаношћу побудне силе која се јавља као последица неравномерности обртног момента мотора у фрикционе дискове се уграђују посебни опружни елементи који делују у тангенцијалном правцу. Улога ових опруга је да смање торзиону крутост а тиме и учестаност сопствених осцилација преносника снаге. Посебно високи захтеви постављају се за пригушне опружне елементе уграђене у дискове спојница аутомобила са дизел моторима и аутомобила са предњим погоном. Док у случају погона позади, деформација торзионих опруга иде највише 3° код аутомобила са предњим погоном овај угао расте до 14° , а код аутомобила са дизел мотором до 6° . Да би се трансмисија заштитила од јако израженог променљивог оптерећења као и да би стално био остварен неопходни момент трења то се поред антиторзионих опруга уграђују и пригушивачи који, обично, раде на принципу трења. Између дискова и главчине постављају се прстенови од челика или фрикционог материјала.

Овај склоп има улогу фрикционог пригушивача. Понекад се ради одржавања стабилне потисне силе у систем пригушивача уграђују и тањирасте опруге. Ове опруге обезбеђују одржавање константног момента трења без обзира на хабање фрикционих прстенова.

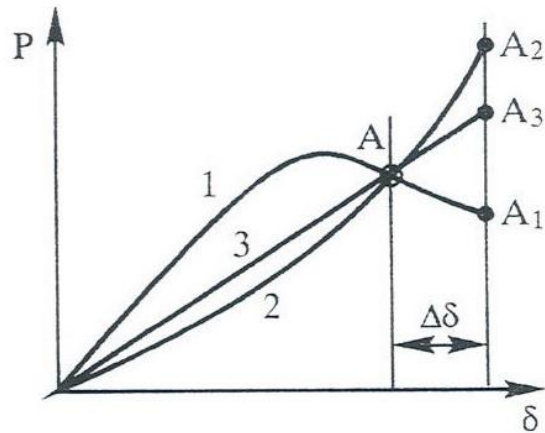
Температура облога при дуготрајном раду не сме прелазити 200°C , а при краткотрајном 350°C . До скоро су се најчешће користиле азбестне фрикционе облоге и то са сложено испреплетеном азбестном нити чија ударна вискозност достиже $35\text{--}40 \text{ kJ/m}^2$.

Данас се, међутим, тежи да се азбестне фрикционе облоге потпуно избаце из употребе због њихових изразито негативних еколошких особина. Веза између диска и фрикционих облога остварује се закивањем. Закивци су шупљи и израђени од легура обојених метала, бакра, месинга и алуминијума, ређе челика, јер челични закивци без обзира што обезбеђују најбоље чврсто спајање, при хабању фрикционих облога оштећују површину притисног диска и замајца. Потисна плоча има функцију преношења дела обртног момента мотора. Конструкцијска решења потисне плоче могу бити веома различита. У свакој варијанти потисна плоча мора бити масивна. Површина потисне плоче окренута ка фрикционом диску је равна и брушена. Да би се боље одводила топлота, потисне плоче у неким варијантама имају радијалне вентилационе канале. Из истог разлога облик потисне плоче на супротној страни од површине трења се изводи тако да обезбеђује што интензивније струјање ваздуха. Када су у питању спојнице са тањирастом опругом, потисна плоча у том случају има и улогу спољашњег ослонаца опруге. Ослонац се израђује у облику кружног прстена са прорезима по периферији. Потисне плоче се обично израђују од специјалног лива (сиво сирово гвожђе) који мора имати добре фрикционе особине у додиру са фрикционим облогама [2].



Слика 2.2. Главне опруге фрикционе спојнице : (а) завојна цилиндрична, (б) завојна конусна, (в) тањираста [2]

Главне опруге спојнице служе за остваривање нормалне силе на површинама трења. Конструктивно се изводе као завојне, и то цилиндричне (Слика 2.2,а) и конусне (Слика 2.2,б), и као тањирасте (Слика 2.2,в). Завојне опруге могу бити постављене по неком кругу близу обода потисне плоче или централно. Тањираста опруга се увек поставља централно. Интересантно је анализирати еластичне карактеристике ових опруга приказаних на слици Слика 2.3 где криве 1, 2 и 3 респективно представљају еластичне карактеристике тањирасте, конусне и цилиндричне опруге. Тачка А представља почетак а тачке A_u ($u=1, 2, 3$) крај процеса искључивања. Очигледно је да су еластичне карактеристике конусне и цилиндричне опруге такве да смањење деформације доводи до наглог смањења притисне силе [2].

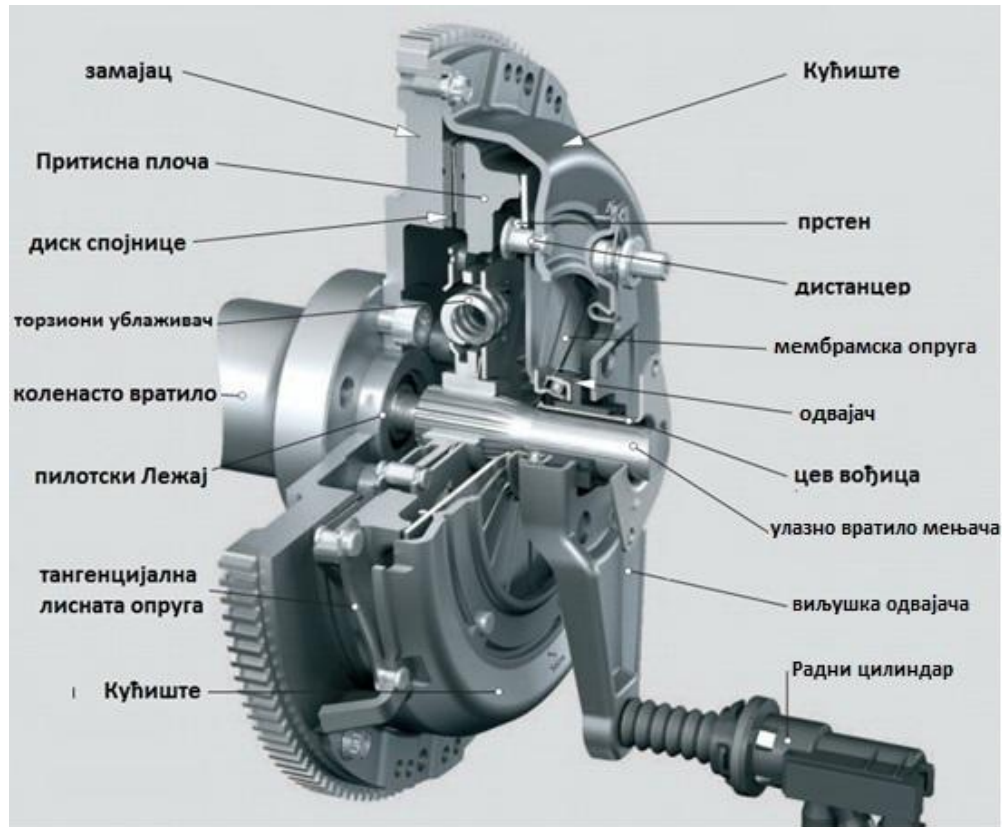


Слика 2.3. Упоредни дијаграм еластичних карактеристика све три врсте главних опруга [2]

Примена тањирастих опруга доводи до упрошћења конструкције механизма спојнице јер сама опруга истовремено обавља и улогу полуга за искључивање. На дијаграму са слике Слика 2.3 се још може запазити да је за задржавање спојнице са тањирастом опругом у искљученом положају, потребна сила за 30% мања него у почетку искључивања. Спојнице са тањирастом опругом налазе све ширу примену не само у путничком него и у теретним аутомобилима и аутобусима.

Полуге за искључивање (наравно, уколико их спојница уопште има) имају задатак да обезбеде да се деловањем потисног лежаја на један њихов крај, оствари одвајање потисне плоче од фрикционог диска.

2.1 Задатак, конструкција и функција

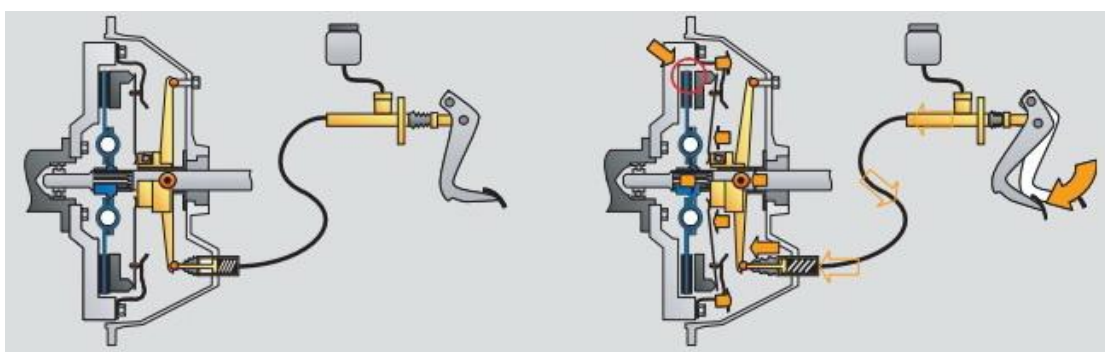


Слика 2.4. Спојница с тањирастом опругом, тип М

Спојница с тањирастом опругом, тип М (слика 2.4) Спојница с тањирастом опругом изузетно је отпорна на високе бројеве обртаја и уз врло малу уградну висину нуди највећу могућу силу притиска уз истовремену ниску силу искључивања. Силу притиска потребну за пренос обртног момента ствара тањираста опруга. При том одвајач притиска директно централне завршетке тањирасте опруге. Тањираста опруга је на кућишта, која су израђена дубоким извлачењем, причвршћена дистанцерима с два жичана прстена, а код посебних облика кућишта за причвршћивање служи један прстен. Прстенови одређују круг преклапања тањирасте опруге. Притисну плочу на кућишту центрирају и држе тангенцијалне лиснате опруге. Те лиснате опруге служе као повратне опруге притисне плоче приликом одвајања спојнице [5].



Слика 2.5. Спојница с тањирастом опругом, тип М



Слика 2.6 а) Притисна функција / успостављен механички спој

Спојница прослеђује мењачу обртни момент који долази од мотора. Потисна плоча је завртњима причвршћена на замајац и на њега притиска диск спојнице. Диск спојнице, који се налази на зупчанику, преноси ротацију ка мењачу.

Слика 2.6 б) Потезна функција / растављен механички спој

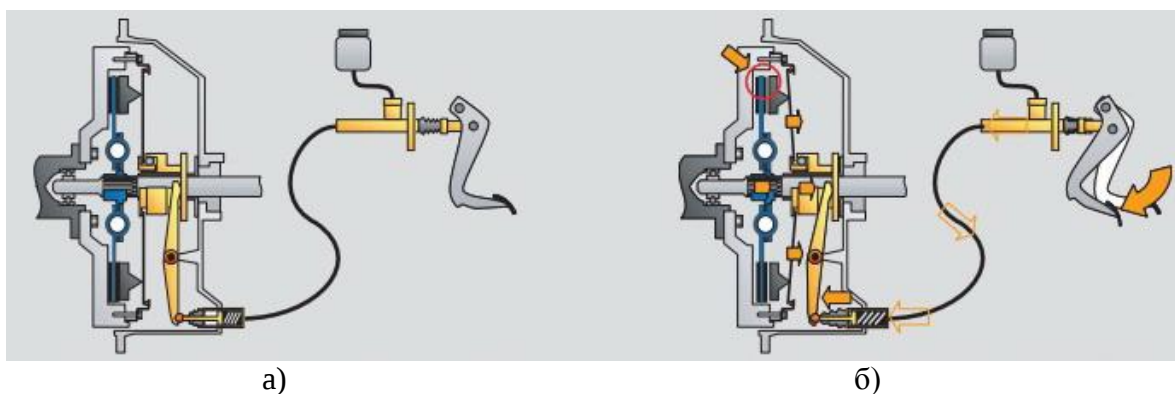
Систем за активирање спојнице притиска одвајач о завршетке тањирасте опруге и помера их. Лиснате опруге истовремено повлаче потисну плочу уназад све дотле док се ова у потпуности не одигне од диска спојнице. Диск спојнице се тиме ослобађа и постаје покретљив и степен преноса се може променити.

Спојница с тањирастом опругом, тип МЗ

МЗ спојница је равна. Тањираста опруга се преко спољног пречника подупире о кућиште и изнутра притиска на притисну плочу. Одвајач је уметнут у завршетке тањирасте опруге. Силе искључења су чак и при високој сили притиска релативно ниске, будући да су односи полуга повољнији него код потисне конструкције. МЗ спојнице се ради повишења преносног обртног момента израђују и у верзији с два диска [5].



Слика 2.7. Спојница с тањирастом опругом, тип МЗ



Слика 2.8а) Притисна функција / успостављен механички спој

Код спојница с тањирастом опругом, одвајач је фиксиран у унутрашњем пречнику завршетака тањирасте опруге. Тањираста опруга се преко спољног пречника подупире о кућиште. Она изнутра притиска на притисну плочу и диск спојнице о замајац.

Слика 2.8б) Потезна функција / растављен механички спој

Одвајач се приликом одвајања повлачи у смеру мењача и при том повлачи завршетке тањирасте опруге са собом. Тангенцијалне лиснате опруге подижу растерећену притисну плочу од облога диска спојнице. Диск се тиме ослобађа и степен преноса се може променити.[5]

3. Главне опруге спојнице, карактеристике

Уобичајени материјали су каљиви угљични челици, Cr-челици, Si-челици, Si-Mn-челици, Cr-V-челици и нерђајући челици. Користе се и обојени метали: (легура Cu-Zn), бронза и ново сребро (легура Cu-Ni-Zn). Од неметалних материјала је најчешћа гума (еластомер). Висока чврстоћа челичних материјала за опруге омогућава висока напрезања па такве опруге могу бити размерно малих димензија. Висока чврстоћа постиже се каљењем, накнадним попуштањем (по потреби), сачмарењем површине и другим поступцима, а што је нарочито важно код динамичких оптерећења.

Опруге су конструкцијски елементи који сврсисходним обликовањем и употребом високоеластичних материјала могу механички рад еластичном деформацијом претворити у потенцијалну енергију и обратно, потенцијалну енергију враћањем у првобитни облик претворити у механички рад. Опруге, дакле, користе једно од основних својстава материјала: еластичност. Иако се опружна функција може остварити и на друге начине, најчешће су у употреби механичке опруге.

3.1 Карактеристика опруге

Коефицијент крутости опруге је мера промене силе F и припадајуће промене угиба s

$$R = \Delta F / \Delta s \text{ (N/mm) или (N/m)} \quad (3.1)$$

односно мера промене торзионог момента T и угла увијања φ :

$$R = \Delta T / \Delta \varphi \quad (3.2)$$

Ако се с повећањем силе опруга све теже деформира, карактеристика је прогресивна (крутост опруге расте). Овакве су гумене опруге те коничне и бачвасте завојне торзионе опруге, као и завојне торзионе опруге с променљивим кораком).

Ако се коефицијент крутости R с повећањем угиба s , односно угла увијања φ не мења, тј. константан је, опруга има линеарну карактеристику. Овакве су завојне торзионе опруге и торзиони штапови. У том случају је

$$R = F / s \quad (3.3)$$

Односно

$$R = F / \varphi \quad (3.4)$$

Ако се с повећањем силе опруга све лакше деформира, карактеристика је дегресивна (крутост опруге пада). Овакве су тањирасте опруге.

Рад W који опруга акумулира приликом деформација једнак је површини испод криве:

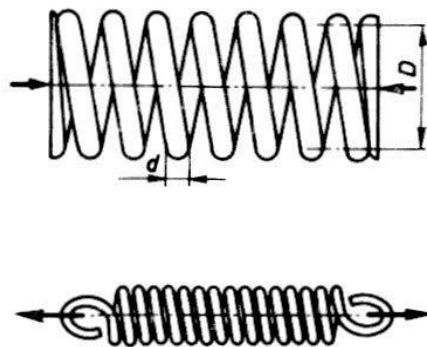
- код транслаторних померања $W = \int F ds$ (J) или (Nmm) или (Nm),
- код ротационих померања $W = \int T d\varphi$.

Ако је нагиб линије у дијаграму стрм, потребна је велика сила за мали угиб, тј. опруга је крута (тврда). Ако је нагиб линије положен, опруга је мека.

3.2 Завојне торзионе опруге:

По смеру деловања силе (приказано стрелицама) могу бити:

- Оптерећене притиском (нпр. код вентила мотора); код пуцања и даље остају у функцији.
- Затезно оптерећене (нпр. код расклопивих кауча и вага); код пуцања губе функцију и треба их избегавати.



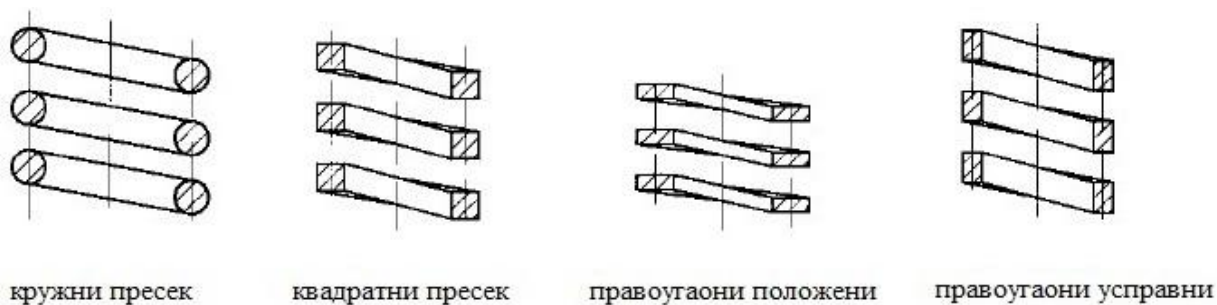
Слика 3.1. Завојне торзионе опруге

По облику су различите, али су најчешће цилиндричне:



Слика 3.2 Облик торзионих опруга

Облик попречног пресека жице је најчешће кружни пресек (округли) са стандардизираним пречницима:

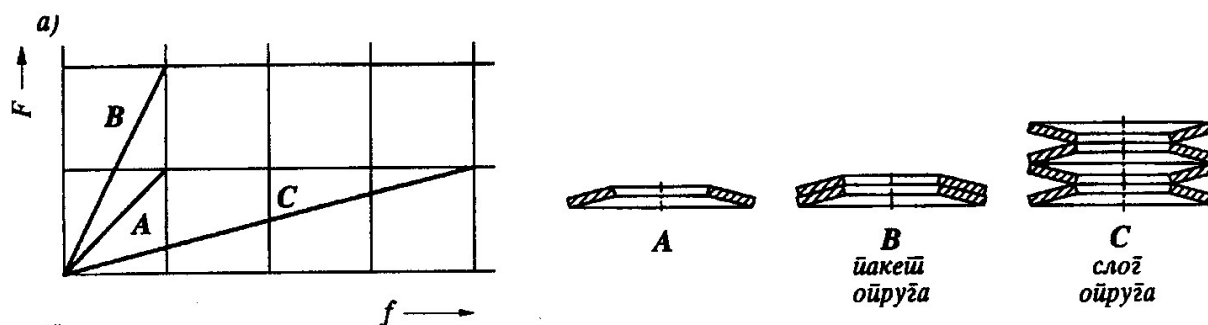


Слика 3.3. Пресек торзионих плоча

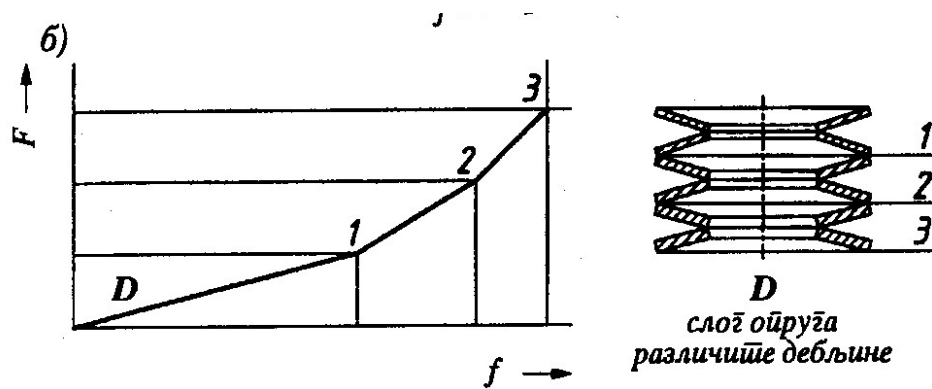
Према смеру увијања жице опруге се деле на десно увијене (имају предност при изради) и лево увијене правоугаони усправни

3.3 Тањирасте флексијске (савојне) опруге

Тањирасте опруге су конусног облика (конусне љуске), које се најчешће користе као слогови (пакети) састављени од већег броја опруга истих пречника. Примењују се код статичких и једносмерно променљивих оптерећења. Оптерећење се преноси по спољашњем и унутрашњем обиму љуске и доводи до сложеног напонског стања, где доминирају нормални напони савијања.

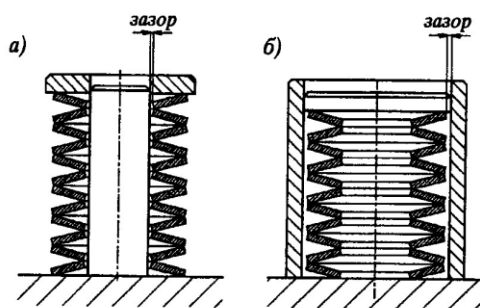


Слика 3.4. Карактеристике тањирастих опруга код појединачне примене, у пакету и у слогу-стубу



Слика 3.5. Слог-стуб тањирастих опруга различите дебљине са прогресивном карактеристиком

Стубови тањирастих опруга могу имати унутрашње вођење (са осовиницом) или спољашње вођење (унутар цилиндра). Погодније је унутрашње вођење.



Слика 3.6. Стуб тањирастих опруга

Осовиница за вођење и додирне површине тањирастих опруга требају бити цементиран и брушени. Прва и последња тањираста опруга у слогу треба бити са поравнатим ивицама, ради добијања довољне површине за преношење оптерећења.

3.4 Тањирасте опруге

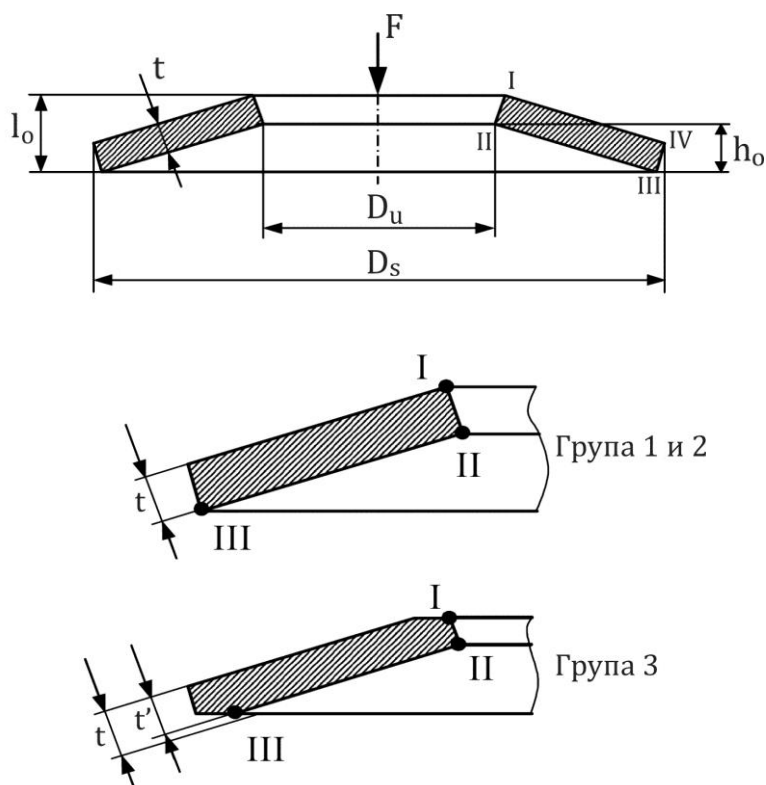
Тањирасте опруге су конично обликовани метални прстенови који преносе оптерећења у аксијалном смеру, слика 3.7. Израђују се топлим обликовањем од челика за опруге-најчешће 50CrV4 (Č4830) или хладним обликовањем од челика за побољшање-најчешће Sk60 (Č1731). Стандардизованог су облика према стандарду DIN 2093, а прорачун је прописан стандардном DIN 2092 [9,38].

Њихове предности су:

- захтевају мали простор при оптерећењу великом силом и уз мали угиб,
- имају велику трајност,
- немају трошкове одржавања,
- могу се слагати у пакете серијски и паралелно тако да се могу добити, разне карактеристике.

Најчешће се употребљавају као притисни елементи у ваљкастим лежајевима, као елементи управљања вентилима, пригушивачи вибрација у машинама за обраду.

Опруге су 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 дегресивна. При посебним комбиновањем опруга може се остварити и прогресивна карактеристика.



Слика 3.7. Тањираста опруга

Тањирасте опруге деле се у три групе према односу D_s/t и h_o/t :

Група	D_s/t	h_o/t	t , mm
A	≈ 18	$\approx 0,4$	$0,4 \div 14$
B	≈ 28	$\approx 0,75$	$0,3 \div 10$
C	≈ 40	$\approx 1,3$	$0,2 \div 7$

Свака од наведених група A, B и C према технологији израде дели се у следеће групе:

Група	Дебљина t	Израда
1	< 1 mm	На хладно-просецањем, пробијањем
2	< 4 mm	На хладно-унутрашњи и спољашњи пречник обрађени су скидањем честица-токарењем, а на унутрашњем пречнику ивице су заобљене.
3	> 4 mm	На топло-опруга је са свих страна обрађена одвајањем честица. Ивице су на унутрашњем и спољашњем пречнику заобљене. Површине у тачкама I и III су поравнате ради бољег наслањања.

Сила се уводи на местима I и III (слика 3.7). На местима II и III настају највећа напрезања.

У прорачуну се користе следеће помоћне величине:

Однос спољашњег и унутрашњег пречника тањирасте опруге: $\delta = \frac{D_s}{D_u}$,

Коефицијент еластичности: $k = \frac{4 \cdot E}{1 - \nu^2} = \frac{4 \cdot 206000}{1 - 0,3^2} = 905495 \text{ N/mm}^2$,

E (N/mm²)-модул еластичности материјала опруге,

ν -Поасонов број, материјала опруге $\nu=0,3$ за жилаве метале.

Фактор односа спољашњег и унутрашњег пречника:

$$K_1 = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\left(\frac{\delta - 1}{\delta}\right)^2}{\frac{\delta + 1}{\delta - 1} - \frac{2}{\ln \delta}}. \quad (3.5)$$

Фактори за израчунавање напрезања:

$$K_2 = \frac{6}{\pi \cdot \ln \delta} \cdot \left(\frac{\delta - 1}{\ln \delta} - 1\right), \quad (3.6)$$

$$K_3 = \frac{3}{\pi} \cdot \frac{\delta - 1}{\ln \delta}. \quad (3.7)$$

Сила у опрузи зависи од односа f/h_o и h_o/t , f -угиб.

Силе у опрузи при угибу f :

$$F = \frac{K}{K_1} \frac{t^3 \cdot f}{D_s^2} \left[\left(\frac{h_o}{t} - \frac{f}{t} \right) \left(\frac{h_o}{t} - \frac{f}{2 \cdot t} \right) + 1 \right]. \quad (3.8)$$

Препоручује се са највећи угиб буде $f_{\max}=0,75h_o$.

Сила при којој се опруга потпуно изравна, тј. кад је угиб $f=h_o$.

$$F_c = \frac{K}{K_1} \frac{t^3 \cdot h_o}{D_s^2}. \quad (3.9)$$

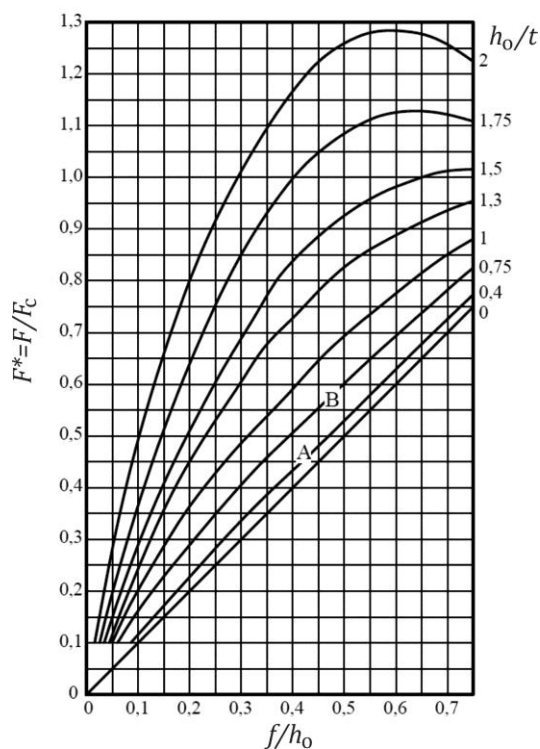
Однос сила:

$$F^* = \frac{F}{F_c}. \quad (3.10)$$

За прорачун се користи дијаграм који за одређену геометрију тањирасте опруге даје зависност силе F (тј. односа F^*) и угиба f (слика 3.8):

Карактеристика опруге је дегресивна и коефицијент крутости зависи од угиба f :

$$R = \frac{K}{K_1} \frac{t^3}{D_s^2} \left[\left(\frac{h_o}{t} \right)^2 - 3 \frac{h_o}{t} \frac{f}{t} + 1,5 \left(\frac{f}{t} \right)^2 + 1 \right]. \quad (3.11)$$



Слика 3.8 Карактеристика опруге у функцији параметра h_o/t

На горњој страни тањира је напрезање на сабијање, а на доњој на истезање. Будући да напрезања на рубу не следе пропорционално величину угиба, тањирасте опруге имају закривљене карактеристике.

Нормално напрезање на сабијање у контролној тачки I:

$$\sigma_I = \frac{K}{K_1} \frac{t^2}{D_s^2} \frac{f}{t} \left[-K_2 \left(\frac{h_o}{t} - \frac{f}{2t} \right) - K_3 \right]. \quad (3.12)$$

Нормално напрезање на истезање у контролној тачки II:

$$\sigma_{II} = \frac{K}{K_1} \frac{t^2}{D_s^2} \frac{f}{t} \left[-K_2 \left(\frac{h_o}{t} - \frac{f}{2t} \right) + K_3 \right]. \quad (3.13)$$

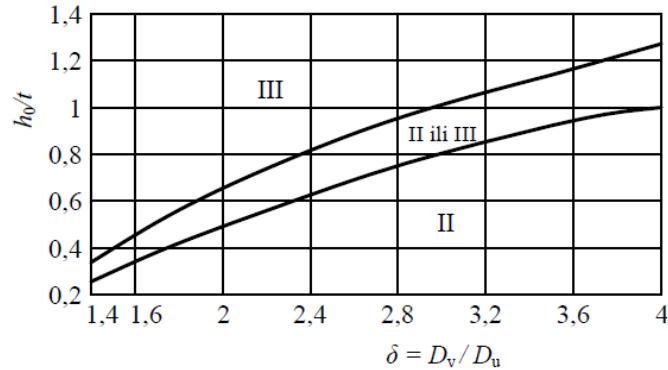
Нормално напрезање на истезање у контролној тачки III:

$$\sigma_{III} = \frac{K}{K_1} \frac{t^2}{D_s^2} \frac{f}{t} \frac{1}{\delta} \left[(2 \cdot K_3 - K_2) \left(\frac{h_o}{t} - \frac{f}{2t} \right) + K_3 \right]. \quad (3.14)$$

Напрезање на сабијање у контролној тачки IV је занемарљиво.

Код *статичког оптерећења* треба израчунати напрезање у контролној тачки I при угибу $f_{\max}=0,75h_o$ и то напрезање не сме бити веће од дозвољеног које износи $\sigma_{\text{Idoz}}=2000 \div 2400 \text{ N/mm}^2$.

Код динамичког оптерећења меродавну контролну тачку II или III за прорачун напрезања треба одредити помоћу дијаграма:



Слика 3.9 Одређивање меродавне контролне тачке код динамичког оптерећења

Код динамичког оптерећења се сила мења између F_1 и F_2 , угиб између f_1 и f_2 , а напрезање између σ_1 и σ_2 . Горње напрезање које је највеће не сме бити веће од допуштеног које је дато у табели 3.1.

$$\sigma_2 \leq \sigma_{2\text{dop}}$$

Табела 1.

Статичко или врло ретко динамичко оптерећење ($N<5000$)				
Угиб опруге		$f\approx 0,75 \cdot h_o$	$f=h_o$	
Допуштено напрезање σ_{Idop} (N/mm^2) у контролној тачки I		2000÷2400	2600÷3000	
Динамичко оптерећење				
Дебљина тањира t , mm		<1,25	1,25÷6	6÷14
Динамичка чврстоћа σ_F (N/mm^2) при почетном оптерећењу	$N\geq 2\cdot 10^6$	730	710	640
	$N=5\cdot 10^5$	840	820	700
	$N=10^5$	980	950	770
Допуштено горње напрезање $\sigma_{2\text{dop}}$ (N/mm^2)		1300	1250	1200

N - број промена оптерећења (циклуса).

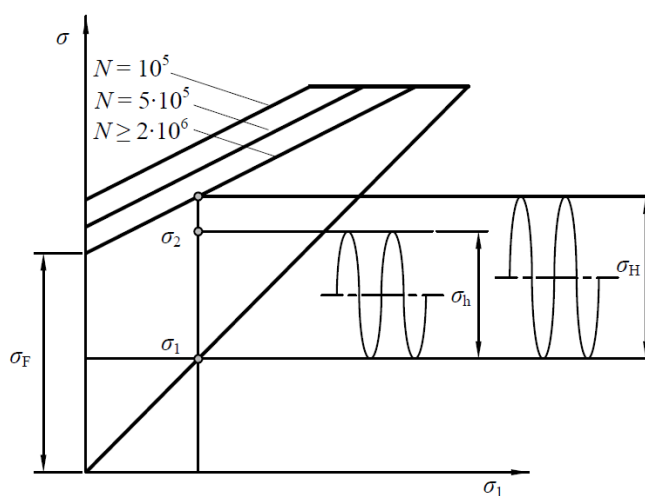
Разлика горњег и доњег напрезања, тј. напрезање хода опруге σ_h мора бити мање од динамичке чврстоће σ_H , што је приказано у Гудмановом (енг. *Goodman*) дијаграму:

$$\sigma_h = \sigma_2 - \sigma_1 \leq \sigma_H. \quad (3.15)$$

Динамичка чврстоћа: $\sigma_H \approx \sigma_F - 0,5 \cdot \sigma_1$.

Вредност динамичке чврстоће при почетном оптерећењу σ_F (дакле при $\sigma_1=0$) читава се из таблице.

Опруге треба уграђивати с угибом $f_1=(0,15\div 0,2)h_o$.



Слика 3.10 Гудманов дијаграм

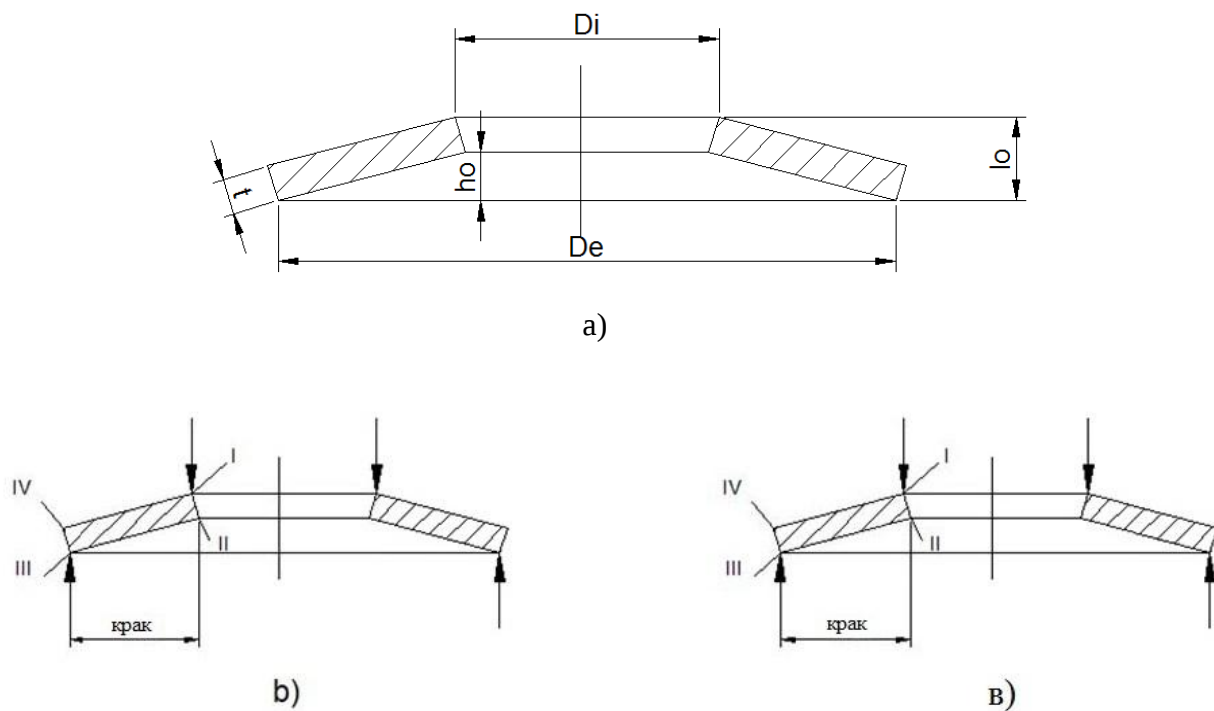
Табела 2. Фактори за тањирасте опруге према DIN 2092

δ	K_1	K_2	K_3	δ	K_1	K_2	K_3	δ	K_1	K_2	K_3
1,2	0,29	1,00	1,04	2,6	0,77	1,35	1,60	4,0	0,80	1,61	2,07
1,4	0,45	1,07	1,13	2,8	0,78	1,39	1,67	4,2	0,80	1,64	2,13
1,6	0,56	1,12	1,22	3,0	0,79	1,43	1,74	4,4	0,80	1,67	2,19
1,8	0,64	1,17	1,30	3,2	0,79	1,47	1,81	4,6	0,80	1,70	2,25
2,0	0,70	1,22	1,38	3,4	0,80	1,50	1,88	4,8	0,79	1,73	2,32
2,2	0,74	1,27	1,46	3,6	0,80	1,54	1,94	5,0	0,78	1,76	2,37
2,4	0,76	1,31	1,53	3,8	0,80	1,57	2,00				

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

$D_e/D_i=2$, постиже се најповољније искоришћење материјала. Тањирасте опруге, позната и као *Belleville* опруге, састоје се од кружних дискова, конично угнутих. Кад се опруга оптерети, како је назначено, диск тежи да се исправи, а настала еластична деформација представља суштину њеног функционалног дејства .



Слика 3.11. Тањирасте опруге [3]

На слици 3.11 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 3.11. в) 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. Табели 1., дате су димензије тањирастих опруга прописане овим стандардом [3].

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	1800000	8	6,5	72000
250	127	14	5,6	255000	10	7	120000

Табела 3. Преглед мера плочастих (тањирастих) опруга по DIN 2093

4. Врсте тањирастих опруга

Према димензијама и начину израде разликују се три групе опруга:

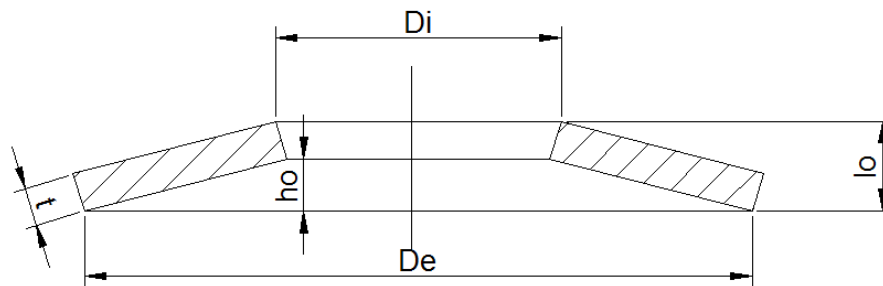
- прву групу чине хладно обликоване опруге (опруге чија је дебљина плоче мања од 1 mm – слика 3.11.а),
- другу групу чине опруге дебљине $t=1...4$ mm које се такође просецају из хладно ваљаних трака и извлачењем доводе у облик коничне лјуске.

Унутрашње и спољашње ивице се обрађују резањем (слика 3.11.б),

- трећа група су топло обликоване опруге са обрађеним ивицама на месту ослањања (дебљина плоче је већа од 4 mm - слика 3.11.в). [3]

4.1 Комбинација тањирастих опруга

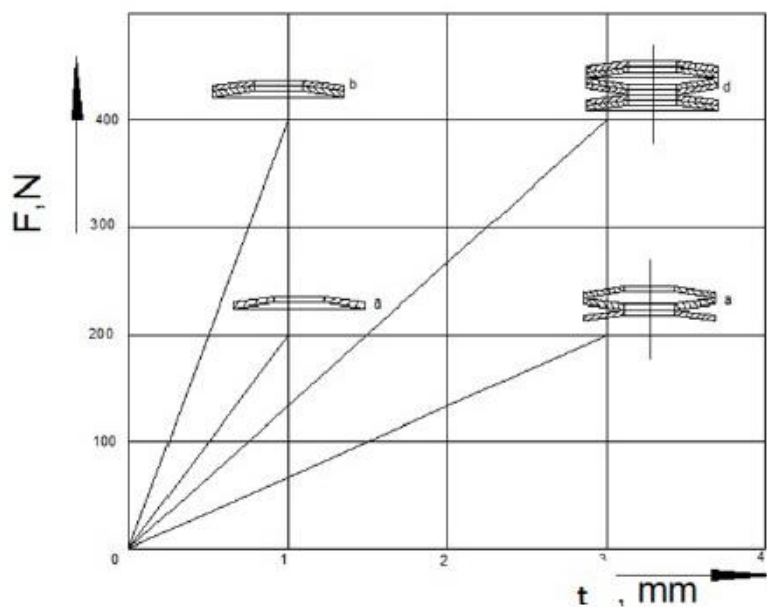
Врста тањирастих опруга, која је нашла највећу примену до сада, је прстенаста плоча (у облику конуса) са правоугаоним пресеком (слика 4.1).



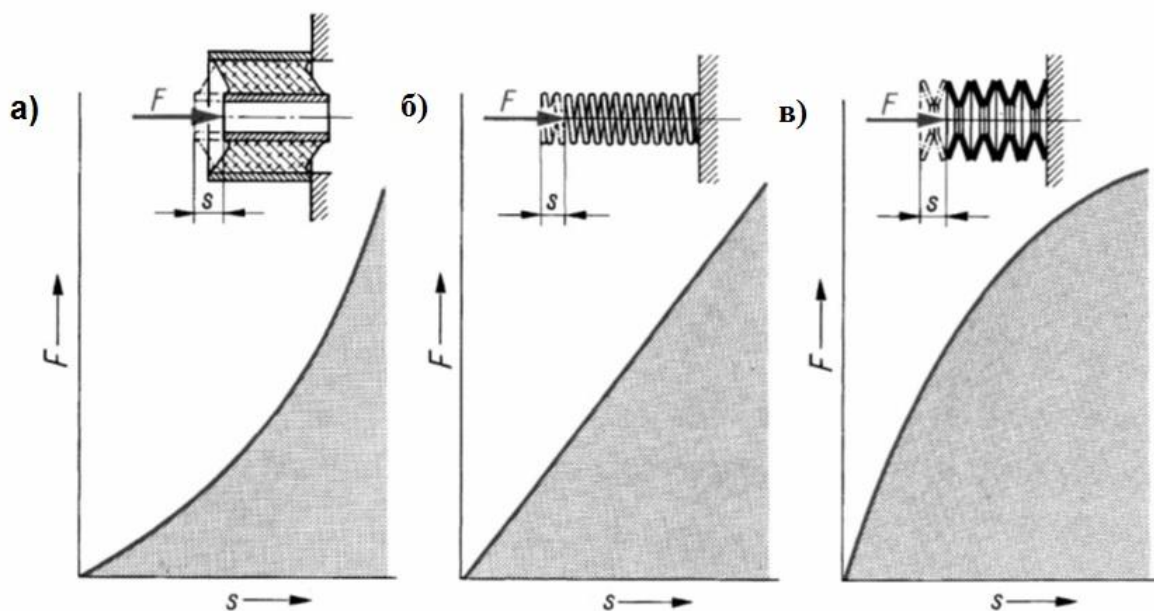
Слика 4.1. Облик тањирасте опруге

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 4.1) ток карактеристичне линије је закривљен и има дегресивни карактер (падајући). Степен закривљености карактеристичне линије опруге зависи једино од односа слободне висине x_0 и дебљине тањира t . Полазећи од малог односа x_0/t , код којег је карактеристична линија скоро праволињиска, закривљеност расте са повећањем x_0/t . За специјални случај када је $x_0/t = 2$, карактеристична линија код спљоштене опруге има један хоризонтални криви део, тј. опружна сила остаје готово константна при повећању хода опруге (слика 4.1). 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 претходном прорачуну оптерећених тањирастих опруга, не буде постигнут захтевајући облик карактеристичне линије дате опруге, већ промена висине x_0 неоптерећеног тањира може омогућити тражену слику карактеристичне линије опруге. За разлику о појединачних тањирастих опруга, са стубовома тањирастих опруга постизе се велика

варијација зависности сила – ход опруге. Ово се постиже различитим комбиновањем тањирастих опруга у стуб тањирастих опруга. [4]



Слика 4.2 Карактеристичне линије опружних стубова



Слика 4.3. а) Прогресивна карактеристика б) Линеарна карактеристика в) Дегресивна карактеристика [4]

На слици 4.2 приказана је карактеристична линија за опружне стубове са тањирастим опругама исте величине, али при различитом поретку:

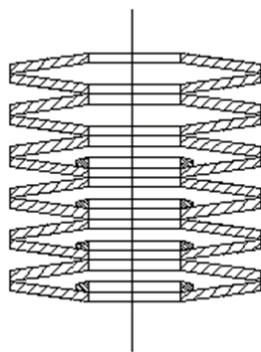
- а) појединачни диск,
- б) пакет тањирастих опруга са два једносмерно наслагана диска (двостука опружна сила при истом ходу),
- ц) опружни стуб тањирастих опруга са три у различитом смеру поређана опружна пакета (двоструки ход опруге),
- д) опружни стуб тањирастих опруга са три у различитом смеру поређана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

При чему је:

- опружни стуб – у различитом смеру поређани дискови (слика 4.2.с),
- опружни пакет – једносмерно наслагани дискови (слика 4.2.б),
- опружни стуб – састоји се од више опружних пакета (у различитом смеру у стуб поређани опружни пакети) (слика 4.2.д).

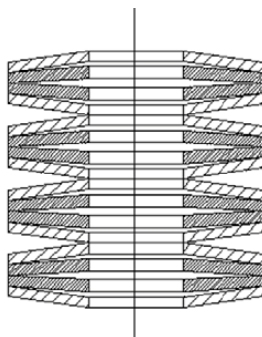
Када се врши прорачун карактеристичних линија опружних стубова, полази се од прорачуна карактеристичне линије појединачног диска. Неопходно је знати да се у случају формирања опружног пакета сила која је важна за појединачни диск множи са бројем дискова који леже паралелно (слика 4.2.б). На овај начин 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 4.2.с). Опружна сила стуба у овом случају одговараће опружној сили појединачне опруге. За опружни стуб од различито поређаних опружних пакета (слика 4.2.д) повећава се како опружна сила тако и ход опруга.

Код стуба тањирастих опруга, "тањир" једноструке, двоструке и троструке наслаге се при оптерећењу спљоште. 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 опруга. Помоћу прстенова за ограничавање деформације. На слици 4.4, 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.



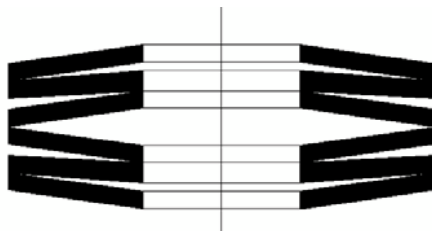
Слика 4.4. Опружни стуб са уметнутим међупрстеновима различите дебљине [4]

Помоћу уметнутих међупрстенова различите дебљине, врши се ограничавање хода опруге унутар опружног стуба. Ограничавање хода унутар опружног стуба 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.



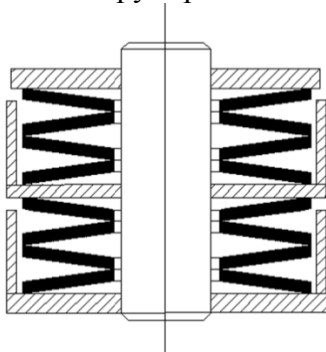
Слика 4.5. Комбинација прстенастих опруга различите дебљине [4]

Слика 4.5 показује комбинацију тањирастих опруга различите дебљине у опружни стуб. Захваљујући оваквом посебном пакету ограничавање хода није потребно за тање опруге. Код тањирастих опруга истих пречника различитом дебљином увек тање опруге имају нешто већу слободну висину x_0 . Захваљујући овоме могућ је следећи поредак.



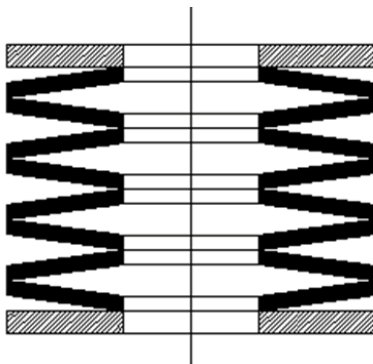
Слика 4.6. Комбиновање тањирастих опруга различите дебљине у опружни стуб [4]

Остваривање прогресивне карактеристике опружне линије могуће је комбиновање тањирастих опруга са равним плочама. При слагању тањирастих опруга према слици једна група од две тањирасте опруге између којих се налази равна плоча, добија при оптерећењу толики угиб да три дела леже паралелно. Након овога равна плоча се поново растеређује пошто се она креће у правцу свог полазног стања. Одговарајући поредак могућ је и код плоча и код тањирастих опруга различитих дебљина и распореда. [4]



Слика 4.7. Слог тањирастих опруга од три различите дебљине [4]

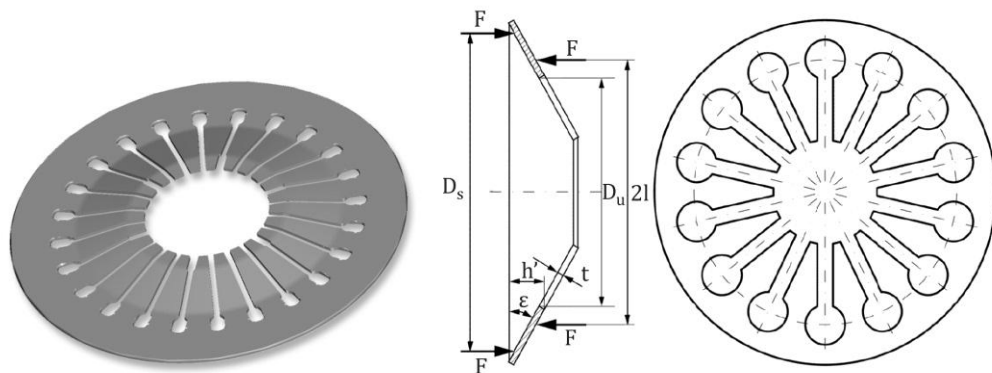
На слици 4.7 приказан је слог тањирастих опруга од три различите дебљине. Ограничавање хода опруга у циљу заштите тањих опруга од превеликог напрезања постиже се додавањем прстенова који леже споља.



Слика 4.8. Слог тањирастих опруга са прогресивном карактеристиком [4]

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

4.2 Разрезана тањираста опруга



Слика 4.9. Разрезана тањираста опруга

Други тип тањирасте опруге је прорезана опруга која се користи у аутомобилским спојницама (слика 4.9).

Због сложености конструкције тањирасте опруге математичко дефинисање њених параметара, а затим и њихова анализа захтевају њено рашчлањавање на конични опружни прстен и опружна пера. То је могуће због тога што опружни прстен остварује радну силу, док опружна пера служе за укључивање и искључивање дејства опружног прстена, чиме су ова два дела функционално раздвојена.

Овде је примењена метода еластичног коничног диска, заснована на једначинама које су добили Алмен и Ласзло који су користили методу професора Тимошенка уз следеће претпоставке:

- попречни пресек диска се не витопери, већ се окреће око центра,
- радијални напони су занемарљиви,
- не узимају у обзир утицај локализованих пластичних деформација,
- оптерећење делује на ивицама опруге.

4.2.1 Опружни прстен

Конични опружни прстен по свом задатку, димензијама и карактеристикама потпуно одговара у литератури познатој и испитаној опрузи типа *Belleville*.

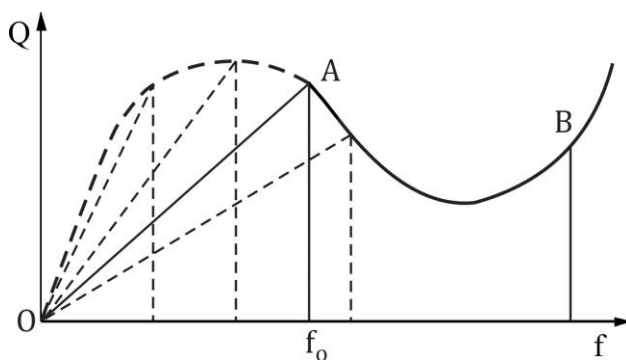
4.2.2 Опружна пера

Функција опружних пера је укључивање и искључивање дејства опружног прстена. Пера су смештена по ободу унутрашњег круга коничног опружног прстена и представљају њихов продужетак. У току прорачуна посматрају се као конзоле, а међусобни утицај приликом одвајања опружног прстена од пера анулира се редукованим моментом. Због тога радна сила на опружним перима зависи од силе коју остварује конични прстен.

После теоријског извођења, добија се следећи израз за радну силу на перу у зависности од угиба коничног опружног прстена:

$$Q = \frac{E \cdot f \cdot t}{\frac{D_s}{2} \cdot l \cdot K(1-\nu^2)} \left((h_o - f) \left(h_o - \frac{f}{2} \right) + t^2 \right), \quad (4.1)$$

док је сила на једном перу: $Q_1 = \frac{Q}{n}$ – где је n број пера.



Слика 4.10. Карактеристика опруге

Међутим сила Q се не понаша у целом интервалу угиба f по овој зависности. У тренутку када почне дејство силе Q , опружни прстен је већ оптерећен и има неки почетни угиб f_0 па стога Q линеарно расте све док се момент у перима не изједначи са моментом у опрузи. Од тог тренутка па надаље сила се понаша по горе наведеној једначини. Дакле, сила услед угиба конзоле може се израчунати према познатом обрасцу из отпорности материјала:

$$Q = n \cdot Q_1 = \frac{3 \cdot n \cdot B \cdot f_1'}{l^3}, \quad (4.2)$$

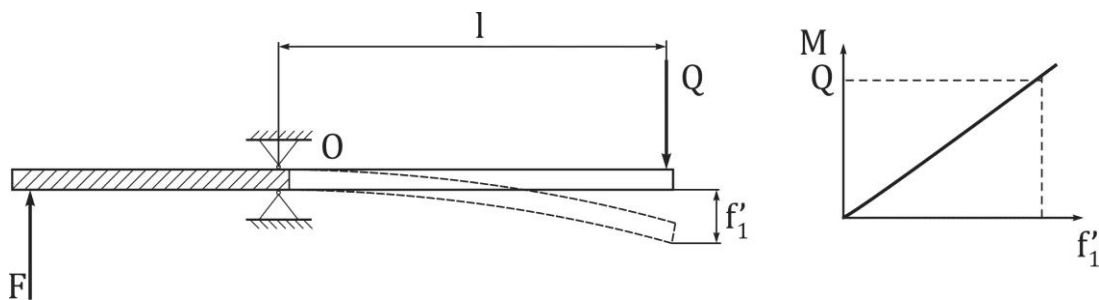
и јасно да је линеарна (слика 4.11).

Величине употребљене у обрасцима израчунавају се на следећи начин:

$$l = \frac{D_p}{2} - e - \text{дужина пера}, \quad (4.3)$$

$$B = E \cdot I_x - \text{крутост опружног пера}, \quad (4.4)$$

$$I_x = \frac{q \cdot t^3}{12} - \text{момент инерције пера}. \quad (4.5)$$

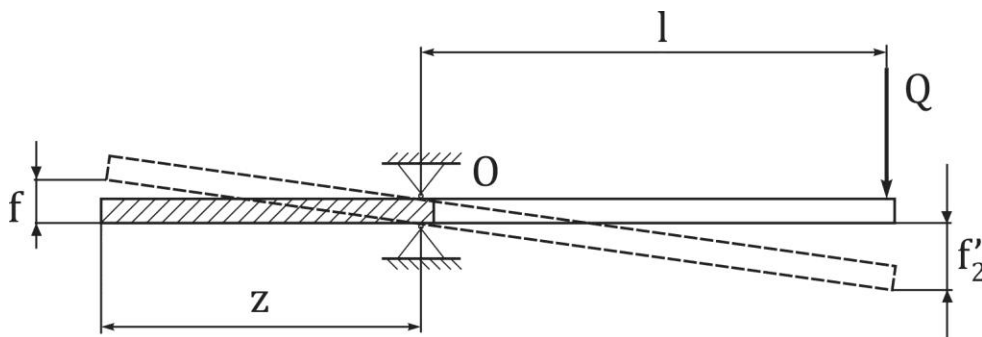


Слика 4.11 Одређивање компоненте угиба

За прорачун опружних пера веома је битан њихов угиб f' на месту дејства силе Q и представља такође сложену и променљиву величину. У интервалу OA сила Q расте линеарно, па је и угиб f'_1 линеарна функција. Међутим од тачке A до B сила Q је променљива па ће бити:

$$f'_1 = \frac{E \cdot f \cdot t \cdot l^2}{n \cdot 3 \cdot B \cdot K (1 - \nu^2)} \left[(h_o - f) \left(h_o - \frac{f}{2} \right) + t^2 \right], \quad (4.6)$$

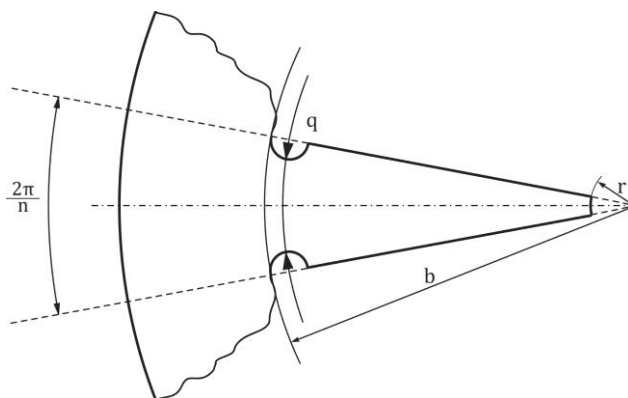
где је $\frac{1}{K} = \left(\frac{\delta + 1}{\delta - 1} - \frac{2}{\ln \delta} \right) \pi \left(\frac{\delta}{\delta - 1} \right)^2$.



Слика 4.12 Одређивање компоненте угиба

Али у том интервалу услед промене угиба опружног прстена f , на основу слике 4.12 доћи ће до додатног померања силе Q за угиб f'_2 па ће сада укупан угиб бити:

$$f'_1 + f'_2 = f' \quad \text{где је} \quad f'_2 \cdot z = f \cdot l. \quad (4.7)$$



Слика 4.13 Опружно перо

4.2.3 Ослабљен прстен тањирасте опруге

Слабљењем опружног прстена, могуће је створити тањирасту опругу са већом чврстоћом опружног пера. То ће омогућити повећање дебљине тањирасте опруге за 50% док ће остале карактеристике бити непромењене.



Слика 4.14. Ослабљен прстен тањирасте опруге

4.2.4 Ојачана тањираста опруга

Елементи за ојачавање се могу додати како би повећали крутост на савијање тањирасте опруге. Резултат овог ојачања је повећање крутости за 80%.



Слика 4.15. Ојачана тањираста опруга

4.2.5 Дизајн тањирасте опруге

Овде је оптимизована дебљина тањирасте опруге а у исто време поштујући њену крутост. Одговарајући алати за оптимизацију су коришћени да дефинишу геометрију оптерећења опружног прстена да би створили одговарајуће оптерећење приликом савијања. Са овом методом дебљина тањирасте опруге се може дуплирати док би остале карактеристике биле непромењене

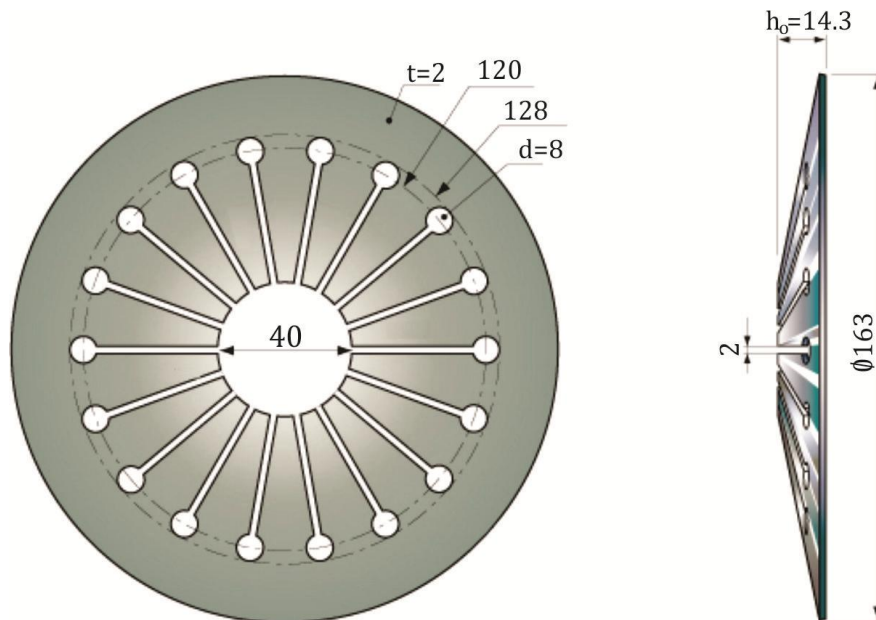


Слика 4.16. Дизајн тањирасте опруге

4.3 Пример прорачуна разрезане тањирасте опруге

Задатак: За тањирасту опругу приказану на слици одредити угиб на месту дејства потисног лежаја.

Спољашњи радијус опруге – $D_s=163 \text{ mm}$,
 Унутрашњи радијус опружног прстена – $D_u=128 \text{ mm}$,
 Дужина пера – $l=38 \text{ mm}$,
 Поасонов коефицијент $\nu=0,3$,
 Дебљина – $t=2 \text{ mm}$,
 Висина опруге – $h_o=14,3 \text{ mm}$,
 Модул еластичности – $E=2,06 \text{ GPa}$,
 Ширина пера на врху – $q=(120 \cdot \nu)/18-8=13 \text{ mm}$,
 Ширина пера на дну – $p=(40 \cdot \nu)/18-2=5 \text{ mm}$,
 $\delta= D_s/ D_u=163/128=1,2734$.



Решење:

Опружни прстен

Препоручује се са највећи угиб буде $f_{\max}=0,75h$.

Висина опружног прстена:

$$h' = \frac{h_o \cdot \frac{D_s - D_u}{2}}{D_s/2} = \frac{14,3 \cdot 17,5}{163/2} = 3,07055 \text{ mm}.$$

Сила која делује на опружни прстен за највећи препоручени угиб:

$$F = \frac{E \cdot f_{max} \cdot t}{\left(\frac{D_s}{2}\right)^2 K(1 - \nu^2)} \left((h' - f_{max}) \left(h' - \frac{f_{max}}{2} \right) + t^2 \right) = 2356,051 \text{ N}.$$

Дијаграм промене силе у функцији угиба је приказан на слици 3.34.

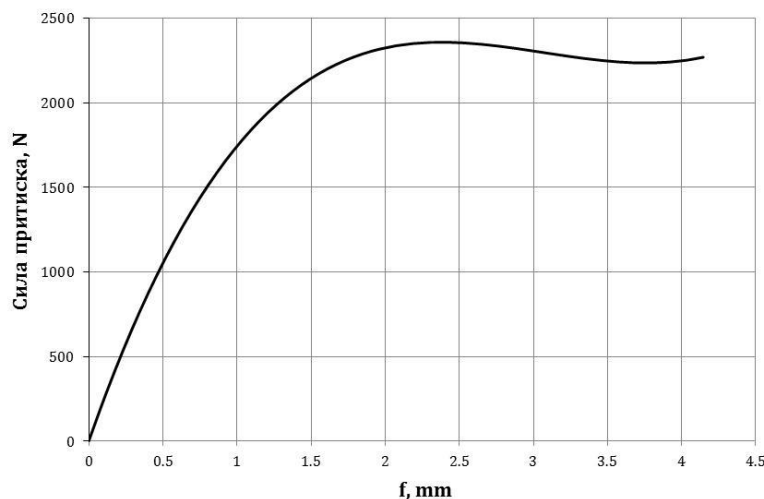
Опружно перо

Угиб f'_1 на месту дејства силе Q се може одредити као:

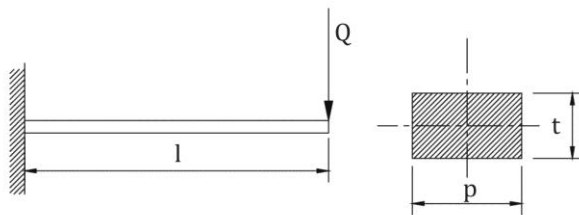
$$f'_1 = \xi \frac{E \cdot f_{max} \cdot t \cdot l^2}{n \cdot 3 \cdot B \cdot K(1 - \nu^2)} \left[(h_o - f_{max}) \left(h_o - \frac{f_{max}}{2} \right) + t^2 \right].$$

Фактор ξ зависи од односа $p/q=0,38$ и има вредност $\xi=1,2$.

Угиб опружног пера на месту дејства силе Q је: $f'_1 = 20 \text{ mm}$.



Слика 4.14 Промена силе притиска са угибом тањирасте опруге



Други део угиба настаје ротацијом уз додатно померање силе Q :

$$f'_2 = \frac{f_{max} \cdot l}{z} = \frac{f_{max} \cdot 28}{21,5} = 4,07 \text{ mm}.$$

Укупан угиб се добија сабирањем претходних чланова:

$$f' = f'_1 + f'_2 = 24,08 \text{ mm}.$$

5 Закључак

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.

Поред стубова тањирастих опруга у раду су описане и разрезане тањирасте опруге које се користе у аутомобилској индустрији. Одрађен је и прорачун угиба тањирастих опруга на месту дејства потисног лежаја. Примена тањирастих опруга доводи до упрошћења конструкције механизма спојнице, затим до смањења масе и димензија спојнице, одржања стабилне карактеристике, без обзира на дејство великих центрифугалних сила, као и непромењеног понашања у функцији од хабања чеоних површина фрикционог диска.

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.

Литература

- [1] Филиповић И., Мотори и моторна возила, Машински факултет универзитета у Тузли, Тузла 2006
- [2] Крајић С. Н., Фрикционе аутомобилске спојнице са тањирастом опругом – завршни рад
- [3] Милтеновић В., Огњановић М., Машински елементи 3, Машински факултет Ниш, 1995
- [4] Јовановић С., Изучавање еластичних елемената укључно искључних механизма фрикционих спојница
- [5] Техничка обука система за пренос снаге пуничких возила. Интернет адреса <http://www.sanel.biz/>. Приступљено 4.09.2014
- [6] Обсиегер, Б., Елементи стројева I, Свезак I, Технички факултет, Свеучилишта у Ријеци, Ријека, Хрватска, 2001
- [7] Јеласка, Д., Елементи стројева, Скрипта за студенте Индустијског инжењерства, Свеучилиште у Сплиту, Факултет електротехнике, стројарства и бродоградње, Сплит, Хрватска, 2005
- [8] Handbook for Disc Springs, Schnorr Corporation, 2003
- [9] DIN 2092, Disc Springs – Calculation, STANDARD by Deutsches Institut Fur Normung E.V. (German National Standard), 03/01/2006
- [10] Јанићијевић, Н., Јанковић, Д., Тодоровић Ј.: Конструкција моторних возила, Машински факултет, Београд, 1991, ИСБН 86-7083-175-9
- [11] Zink, M., Hausner, M., Welter, R., Shead, R., Clutch and release system – Enjoyable clutch actuation, LuK symposium, 2006