

Факултет инжењерских наука

Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Моторна возила и мотори

Предмет: Виртуелно конструисање возила

Број индекса: 402/2012

Бранко В. Радичевић

Тањираста опруга фрикционе спојнице
мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Доц. др Јасна Глишовић, ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да

- Улога, тј. задатак главних фрикционих спојница на возилу
- Основни елементи спојнице
- Главне опруге спојнице, карактеристике, предности и недостаци
- Врсте тањирастих опруга на тржишту
- Прорачун неразрезане и разрезане тањирасте опруге
- Нумеричке методе прорачуна тањирасте опруге
- Анализирати нумерички утицајне параметре карактеристике тањирасте опруге

Препоручена литература:

- [1] Јанићијевић Н., Јанковић Д., Тодоровић Ј.,: Конструкција моторних возила, Машински факултет Београд, 1987
- [2] Николић, В., Ђорђевић, З., Благојевић, М., Машински елементи-збирка задатака, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2008

Крагујевац, 11.06.2014

ментор:

Јасна Глишовић, проф.

Резиме

Трансмисија (систем за пренос снаге) обухвата све делове и склопове на возилу који преносе снагу од мотора до погонских елемената возила (точкови или гусенице). Трансмисија има задатак не само да пренесе снагу од мотора до погонских кретања возила, него и да изврши промену облика погонских карактеристика мотора, односно промену параметара његове снаге. Спојница омогућава пренос снаге са погонског агрегата на остале делове погонског склопа. У овом завршном раду је обрађена једна од најзаступљенијих спојница-фрикциона спојница, са својим конструктивним елементима. Извршено је поређење карактеристика главних опруга фрикционе спојнице. Посебан акценат је стављен на тањирасту опругу као најчешће примењеној главној опрузи фрикционе спојнице и њеним врстама. Извршена је упоредна анализа прорачуна тањирастих опруга, и приказан је нумерички прорачун за разрезану тањирасту опругу. У програмском пакету Autodesk Inventor Professional урађен је приказ 3D модела разрезане тањираст опруге и извршена структурна анализа модела. Резултати добијени током структурне анализе су детаљно приказани и објашњени.

Кључне речи: Фрикциона спојница, тањираста опруга, 3D модел тањирастеопруге

Summary

Transmission (power transfer system) includes all vehicle's parts and systems which transmit the engine's power to impellent elements of the vehicles (wheels or caterpillar). Transmission has the task not only to transmit the engine's power to the drive wheels of the vehicle but also to execute the change of the impellent engine characteristics ie changing the parameters of its power. Clutch enables the power's transmission from impellent aggregate to driven transmission parts. Frictional clutch, the most frequent one, with its constructive elements, is processed here, in this final work. The comparison of the main spring's characteristics is performed. The special emphases are on diaphragm spring as the main spring of the friction clutch, which is the most applied, and its types. A comparative analysis of diaphragm spring's calculation is also executed and numerical calculation for slit diaphragm spring is presented. The 3D display of slit diaphragm spring's model is made and structural analysis is performed in software package Autodesk Inventor Professional. The results obtained during the structural analysis are shown and explained in detail.

Keywords: friction clutch, the diaphragm spring, the 3D model of the diaphragm spring

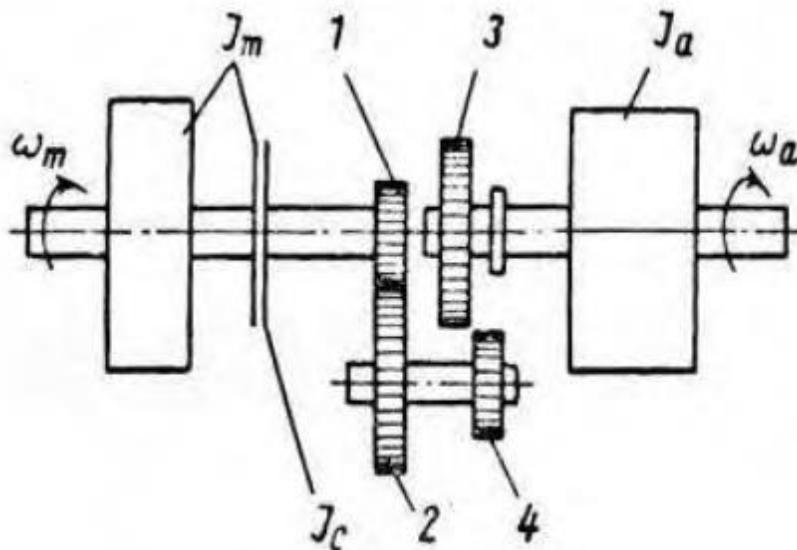
Тањираста опруга фрикционе спојнице

Садржај

1.0	Увод.....	5
2.0	Улога, задатак главних фрикционих спојница на возилу	6
3.0	Основни елементи спојнице.....	10
3.1	Замајац	10
3.2	Диск (ламела)	11
3.3	Потисна плоча	13
3.4	Потисни лежај	13
4.0	Главне опруге спојнице, карактеристике, предности и недостаци	15
4.1	Завојна цилиндрична опруга.....	15
4.2	Завојна конусна опруга.....	16
4.3	Тањирасте опруге.....	17
4.4	Карактеристике главних опруга спојнице	18
4.5	Предности и мане главних опруга спојнице.....	20
5.0	Врсте тањирастих опруга на тржишту.....	21
5.1	Материјали за израду тањирастих опруга	26
5.2.	Мере побољшања тањирастих опруга	29
6.0	Прорачун неразрезане и разрезане тањирасте опруге	30
6.1	Прорачун неразрезане тањирасте опруге	31
6.2	Прорачун разрезане тањирасте опруге	37
7.0	Нумерички прорачун разрезане тањирасте опруге.....	42
8.0	Моделирање и Структурна анализа тањирасте опруге	44
	Закључак	60
	Литература.....	61

1.0 Увод

С обзиром да мотор са унутрашњим сагоревањем, који се најчешће користи као погонски агрегат, има малу снагу и обртни момент на малим бројевима обртаја, док при поласку из места возило обично захтева повећану снагу, дакле и виши број обртаја, укључно-искључна спојница, као саставни део трансмисије је неизоставна. Њоме се раздваја погонски мотор од осталог дела трансмисије (гоњеног) и омогућава рад мотора без преноса снаге на погонске склопове. Зависно од врсте, намене али и трансмисионог склопа у возилима се употребљавају фрикционе и хидрауличке спојнице. Остале врсте спојница су мање заступљене [3].



Слика 1. Функционални принцип рада спојнице (J_m - Момент инерције обртних делова мотора, J_c -Момент инерције спојнице, J_a - Момент инерције обртних делова трансмисије до погонских точкова, 1-2; 3-4 Парови зупчаника у мењачкој кутији) [3]

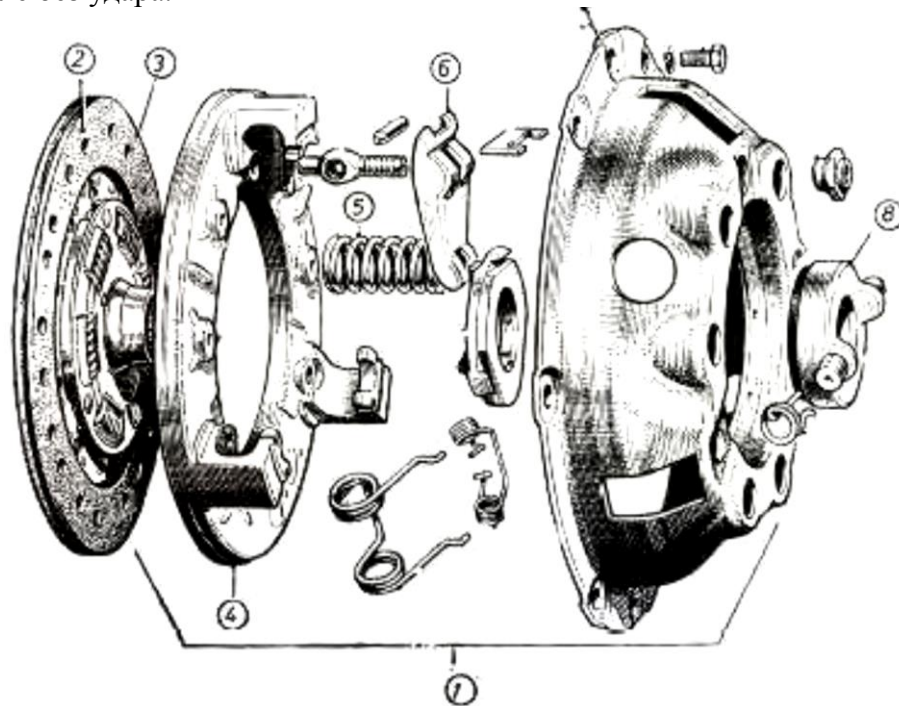
Кад возач смањи деловање на папучицу спојнице, потисни лежај делује преко тањирасте опруге која се враћа у недеформисано стање, и притом гура фрикциони диск на замајцац. Тако се остварује веза између погонског агрегата (замајца) и улазног вратила мењача. На тај начин, радилица и улазно вратило се окрећу истим брзинама, па је омогућен потпуни пренос снаге са агрегата на мењач.

Када се притисне педала спојнице, сила се преноси преко сајле и система полуга, или хидрауличног цилиндра и притискује виљушку. Она притиска потисни лежај, који делује на централни део тањирасте опруге. Вршењем притиска на централни део, смањује се притисак на ободу тањирасте опруге. Ово омогућује да потисна плоча ослободи диск. Тиме се спојница одваја од погонског агрегата, па се прекида веза између погонског агрегата и мењача.

2.0 Улога, задатак главних фрикционих спојница на возилу

Спојница на моторном возилу је елемент за пренос снаге увиду обртног момента од мотора до мењача. Осим ове основне функције, има и задатак да ублажи ударе који се преносе од мотора и да у случају преоптерећења заштити остале елементе за пренос снаге од оштећења. Ове спојнице дозвољавају да се укључивање и искључивање обави подоптерећењем при произвољној разлици угаоних брзина погонског и гоњеног вратила. Преносе обртни момент преко отпора клизања на додирним површинама обода спојнице.

Фрикционе спојнице могу да пренесу обртни момент само уколико између радних површина делује нормална сила, односно постоји одговарајући притисак. У току укључивања обртни момент се постепено повећава сагласно притиску додирних површина, при чему постоји знатна разлика угаоних брзина погонског и гоњеног дела спојнице, односно постоји проклизавање. Проклизавање се јавља све док се угаоне брзине погонског и гоњеног вратила не изједначе. Проклизавање, међутим, има и позитиван ефекат, јер омогућује да укључивање и искључивање гоњеног вратила буде меко и постепено, дакле без удара.

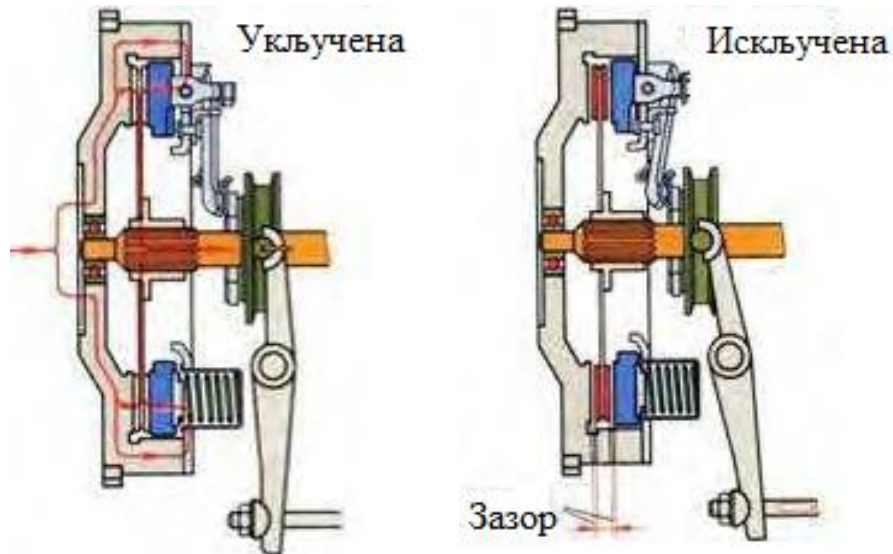


Слика 2. Делови фрикционе спојнице 1. Саставни елементи спојнице, 2. преносна плоча са ублаживачима торзионих осцилација, 3. Тарна плоча 4. Потисна плоча 5. Једна од више спиралних опруга, 6. Двокрака виљушка 7. Звono (кућиште) спојнице 8. Потисни (аксијални) лежај [3]

У случају наглог преоптерећења у току рада долази до клизања фрикционих елемената по додирној површини, чиме се систем штити од преоптерећења и разарања.

Тањираста опруга фрикционе спојнице

Због проклизавања долази до загревања и хабања додирних површина. Хабање може да се смањи подмазивањем додирних површина, чиме се делом одводи трењем произведена топлота, али се на овај начин знатно смањује коефицијент трења. Повећањем површине преко које се топлота одводи у околну средину постиже се и ефикасније хлађење спојнице. Уколико и то није довољно, мора се предвидети принудно хлађење ваздухом или водом.



Слика 3. Положај укључено/искључено код фрикционе спојнице

Постоје:

- фрикционе спојнице са равним додирним површинама,
- фрикционе спојнице са конусним додирним површинама,
- електро-магнетне, хидрауличне и пнеуматске фрикционе спојнице.

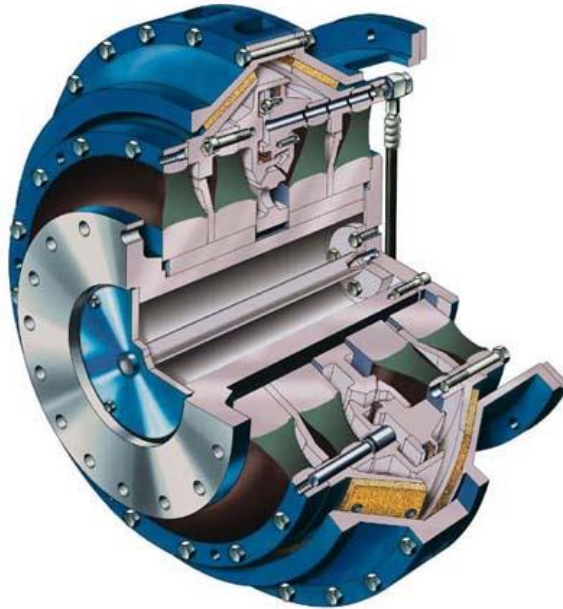
Фрикционе спојнице са равним додирним површинама остварује контакт трењем равних површина диска. Ове спојнице су најраспрострањеније од свих фрикционих спојница.



Слика 4. Фрикциона спојница са равним површинама [5]

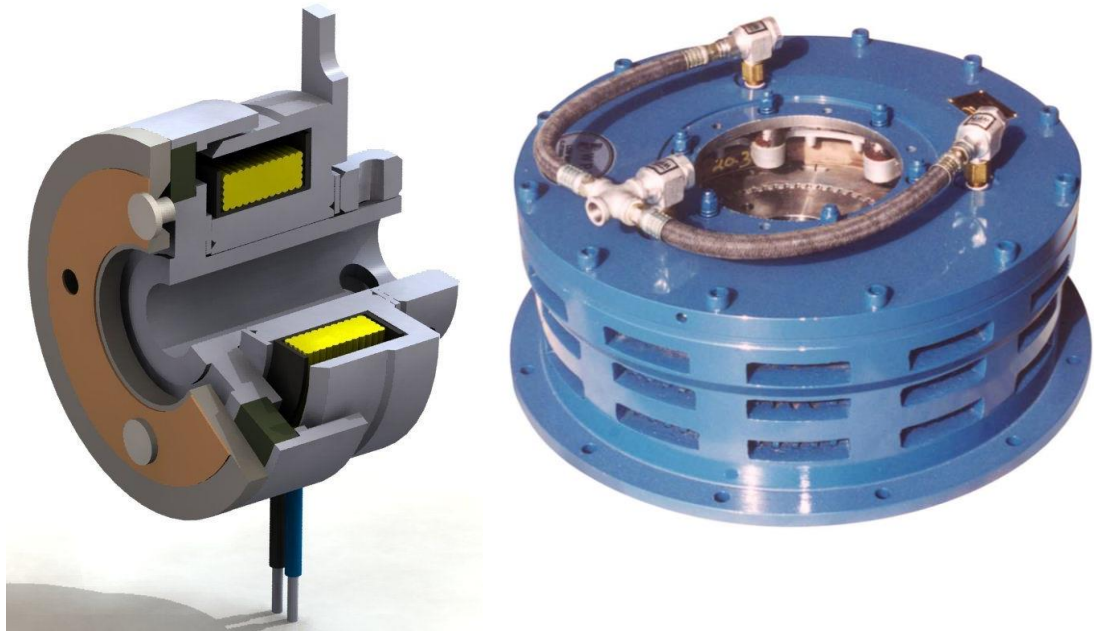
Тањираста опруга фрикционе спојнице

Фрикциона спојница са конусним додирним површинама контакт остварује преко конусних површина, оне дају већи обртни момент од спојница са равним додирним површинама исте величине. Имају бољу способност укључивања и већу контактну површину. Угао конуса износи од 12° до 16° . Ради повећања коефицијента трења додирне површине конуса су обложене облогама од коже или органских неазбестних фрикционих материјала. Иако је аксијална сила потребна за укључивање три до четири пута мања него код спојница са равним додирним површинама, њена употреба је мања. Највише се примењују код тркачких аутомобила, рели возилима, теренских возила, а имају и примену на глисерима. То је зато што спојница не мора да буде притиснута до краја, и доћи ће до промене степена преноса, веома брзо и лагано [14].



Слика 5. Конусна фрикциона спојница [6]

Електро-магнетне, хидрауличке и пнеуматске фрикционе спојнице се користе за даљинско управљање. Код електромагнетне спојнице електромагнет се напаја једносмерном струјом кроз додирне прстенове, а хидрауличне, односно, пнеуматске спојнице се укључују помоћу уља, односно, ваздуха под притиском. За активирање електромагнетних спојница користи се једносмерна струја напона 24V. Ламеле се израђују од челика са или без облоге. Ове спојнице се одликују малим димензијама и брзим укључивањем. Користе се у преносницима алатних машина, али и на грађевинским и другим машинама, а могу се применити и као кочнице.



Слика 6. Електро-магнетна и пнеуматска фрикциона спојница [7,8]

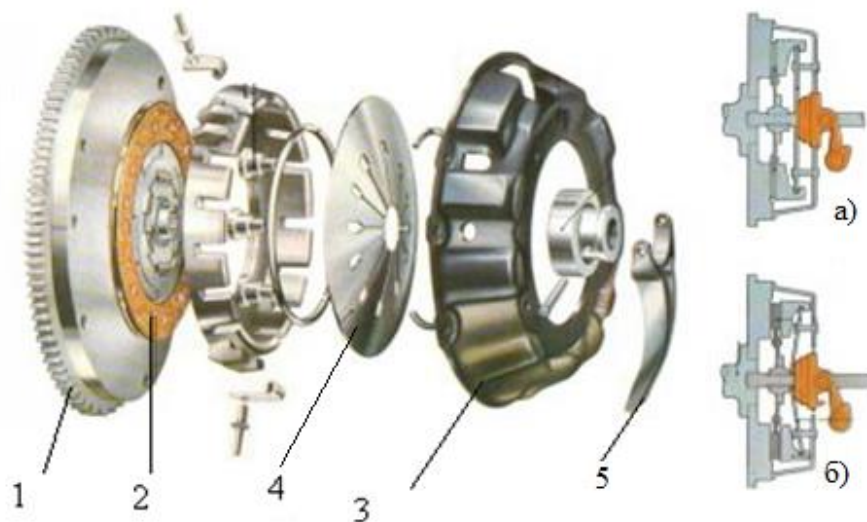
Постоји још једна подела спојница:

- једноламеласти сува фрикциона спојница,
- вишеламеласти сува фрикциона спојница,
- хидродинамички трансформатор.

3.0 Основни елементи спојнице

Основни делови фрикционе спојнице су:

- Замајац
- Диск, ламела
- Потисна плоча
- Тањираста опруга
- Потисни лежај.



Слика 7. Основни делови фрикционе спојнице
(1-Замајац, 2-Диск, ламела, 3-Потисна плоча, 4-Тањираста опруга, 5-Потисна виљушка,
(а-укључена, б-искључена) [3]

3.1 Замајац

Улога замајца код мотора СУС је вишеструка. Поред основног задатка, успоставе што мање неравномерности угаоне брзине радилице мотора, у току једног радног циклуса, замајац мотора има и друге задатке као што су:

- потпомагање пуштања мотора у рад,
- потпомагање рада регулатора броја обртаја,
- потпомагање покретања возила из места,
- потпомагање савладавања краткотрајних преоптерећења.

У новије време замајац има истовремено и друге функције као нпр.:

- пригушивач торзионих осцилација,
- генератор за производњу електричне енергије.

Замајац има значајан момент инерције чиме постиже велики отпор променама ротационе брзине. Енергија ускладиштена у замајцима је пропорционална квадрату ротационе брзине. Енергија која се преноси замајцу путем момента, на овај начин повећава ротациону брзину и на тај начин складишти енергију. Важно је што прецизније дефинисати карактеристике замајца, уз што једноставније методе, тим више што се зна да на избор карактеристика замајца поред конструктивних карактеристика мотора утиче и ток притиска у цилиндрима мотора и трење у појединим склоповима мотора, који се тешко могу једноставно дефинисати [10].



Слика 8. Замајац [9]

3.2 Диск (ламела)

Диск је део спојнице који се састоји од: главчине, носача фрикционих облога, фрикционих облога и завојних опруга. Унутрашњи део главчине је ожљебљен. Централни део се израђује од челика, а носачи фрикционих облога од челичног лима. Између главчине и носача фрикционих облога налази се одређени број завојних опруга, чији је задатак да обезбеде еластичну везу између ових делова. Носач фрикционих облога је посредством завојних опруга у вези са главчином диска. На носач се причвршћују фрикционе облоге, које имају облик кружних прстенова. Облоге се спајају с носачем помоћу закивака од бакра или алуминијума. Када се спојница укључује, притисак диска на замајац се повећава и тако расте трење између диска и замајца, што омогућује постепено преношење момента [11].

Како фрикционе облоге треба да обезбеде максимални коефицијент трења, оне се израђују од специјалног материјала. То је најчешће азбест, као основни материјал, а додају му се месинг, бакар, цинк и др. Данас се азбест као фрикциони материјал више не користи због свог канцерогеног дејства, зато се уводе фрикционе облоге од кевлара, керамике, фибера, карбона и органских. Фрикционе облоге од кевлар имају дужи радни век до пет пута од класичних. Са овим облогама спојница лакше остварује контакт и лакше је

Тањираста опруга фрикционе спојнице

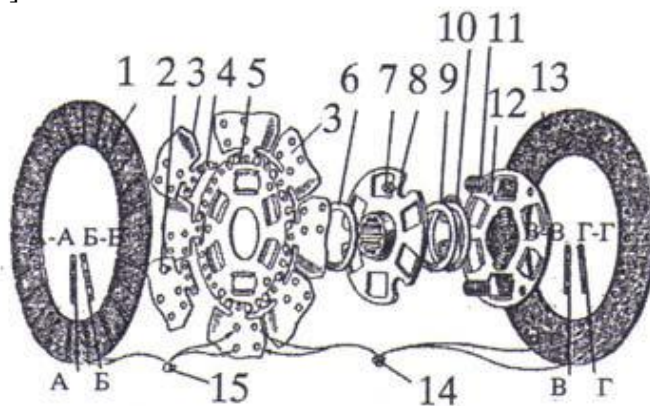
укључивање спојнице. Коришћењем кевлара продужује се радни век замајца, зупчаника у диференцијалу и других елемената погонске групе [31].



Слика 9. Фрикциона облога од кевлара [31]

Керамичке облоге се брзо хабају и самим тим оштећују остале делове трансмисије, њихова предност је у томе што подносе добро високу топлоту, и највећа примена им је код камиона, тегљача. Органски материјали се примењују код возила са слабијим агрегатима [31].

Један од важних подсклопова фрикционих спојница је фрикциони диск са облогама прстенастог облика. Пренос обртног момента мотора преко елемената који су чврсто повезани за коленасто вратило мотора, тј. преко замајца са једне стране и потисне плоче са друге, омогућава трење фрикционог материјала облога на површинама налегања. Фрикциони диск је чврсто притиснут између површина налегања на замајцу и потисном диску, помоћу опруга, које стварају потребну и довољну силу притиска, и тако врши пренос максималног обртног момента са мотора на мењачки преносник, и даље на друге елементе трансмисије [11].



Слика 10. Фрикциони диск у расклопљеном стању: 1 и 13-фрикционе облоге, 2 и 4-закивци, 3-плочаста опруга, 5 и 12-диск, 6 и 9 - фрикциони прстени, 7-осигурач, 8-главчина; 10 - регулациони подметач, 11 - опруга, 14 и 15-заковице [3]

На слици 10 је приказан фрикциони диск и сви његови делови. Да би се омогућио квалитетнији контакт површина трња и равномерно укључивање и спречила извитоперења при загревању, тежи се слабијој аксијалној крутости фрикционог диска. Зато се прави исти с разреза Т-облика (Слика 11). Између диска и фрикционих облога често се постављају

Тањираста опруга фрикционе спојнице

еластичне плоче. Фрикционе облоге се учвршћују независно једна од друге, за диск или еластичне плоче.

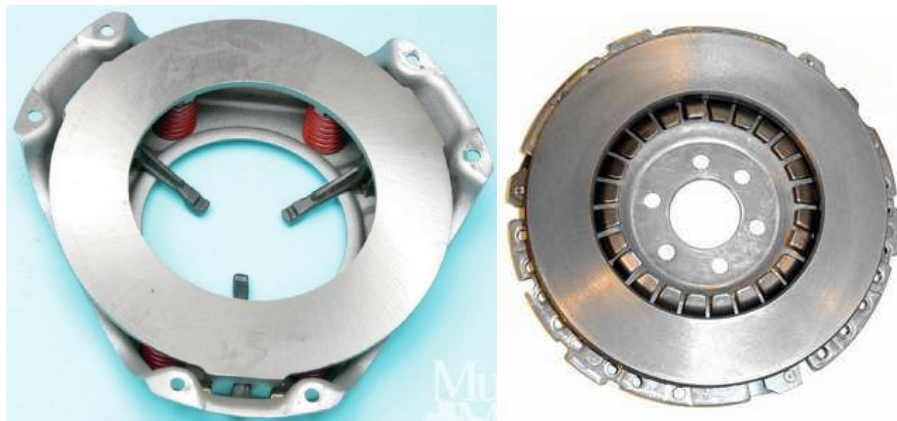


Слика 11. Фрикциони диск са Т разрезом [3]

У фрикциони диск спојнице, се постављају пригушивачи торзионих осцилација, који имају задатак да умање или потпуно одстране високофреквентне осцилације, настале у трансмисији услед дејства периодичних побуда. Они мењају еластичну карактеристику трансмисије и смањују вероватноћу појаве резонанце при поклапању сопствених и принудних учестаности торзионих осцилација.

3.3 Потисна плоча

Потисна плоча се уграђује између тањирасте опруге и диска спојнице, њен задатак је да под дејством аксијалне силе, коју преноси тањираста опруга, изврши притисак на диск, који се осом спојничког вратила подужно помера и належа на замајац. Потисна плоча због функције коју обавља се израђује од специјалних ливова, који мора имати добра фрикциона својства. Она мора да задржава своју почетну структуру, и да обезбеди струјање ваздуха чиме се смањује топлота на и око потисне плоче [11].



Слика 11. Потисна плоча (у склопу са поклопцем спојнице) [12]

3.4 Потисни лежај

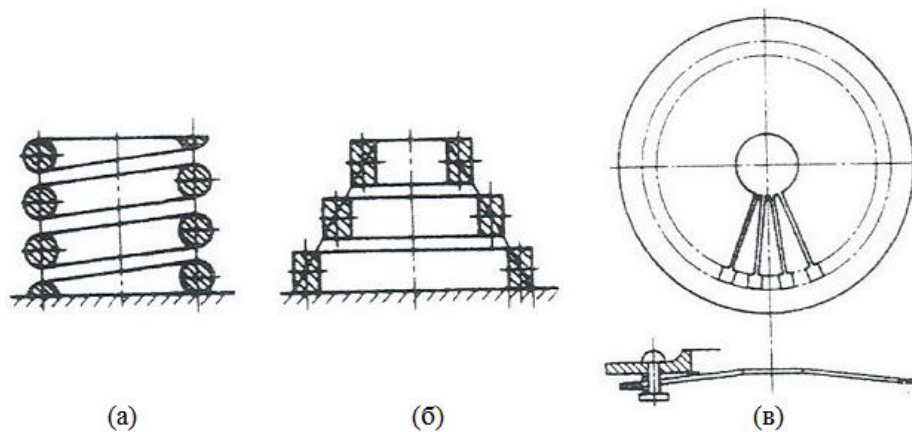
Потисни лежај, налази се непосредно до двокраких полуга или тањирасте опруге. Његов задатак је да за време аксијалног кретања изврши притисак на сегменте тањирасте опруге и преко система полуга омогући одвајање потисне плоче од диска, а самим тим и искључивање спојнице. Потисни лежај је аксијални куглични лежај, а уместо њега се, такође може користити и графитни прстен. За време рада мотора, када је спојница укључена, потисни лежај треба да буде слободан и удаљен од тањирасте опруге 2-5mm. Уколико не би било зазора, лежај би се стално обртао и век би му се знатно смањио. Слободни ход потисног лежаја је у директној зависности од хода педале спојнице.



Слика 13. Потисни лежај [13]

4.0 Главне опруге спојнице, карактеристике, предности и недостаци

Опруге представљају јединствени машински елемент који је способан да се под дејством спољашњег оптерећења еластично деформише и да, уколико је потребно, врати апсорбовану енергију. Још познати под надимком „интелигентни машински елементи“ ови делови могу да се употребе у два велика подручја: за пригушивање и за акумулацију енергије. Способност опруга може да се повећа применом високоеластичних материјала и одговарајућим конструкционим извођењем. Главне опруге спојнице служе за остваривање нормалне силе на површинама трења. Конструктивно се изводе као завојне, и то цилиндричне и конусне, и као тањирасте. Завојне опруге могу бити постављене по неком кругу близу обода потисне плоче или централно. Када су завојне опруге постављене кружно по ободу онда их има више (6-18). Тањираста опруга се увек поставља централно [1].



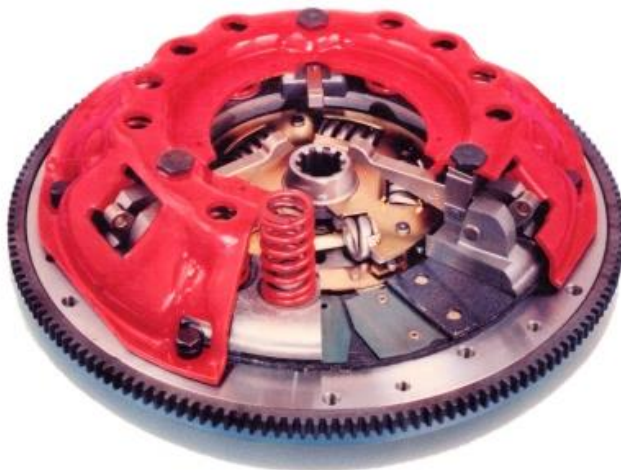
Слика 14. Главне опруге спојнице, (а) завојна цилиндрична, (б) завојна конусна, (в) тањираста [2]

4.1 Завојна цилиндрична опруга

Завојне цилиндричне опруге се састоје од жице обмотане у облику спирале, намењене су за рад под притиском и затезна оптерећења. Пресек жице из које је направљена опруга може бити кружног, квадратног или правоугаоног облика. Ове опруге по правилу имају увек десну завојницу. Завојне цилиндричне опруге имају могућност да се одупру притискајућој сили и да у режиму повратка обезбеде силу за исправљање опруге. Оптерећење се простире паралелно или дуж осе опруге. 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.



Слика 15. Завојна цилиндрична опруга [17]



Слика 16. Фрикциона спојница са завојном цилиндричном опругом [18]

4.2 Завојна конусна опруга

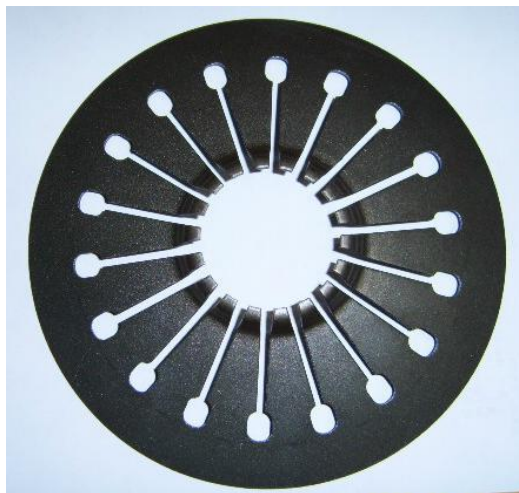
Конусне завојне опруге примењују се при високим оптерећењима у циљу постизања прогресивне карактеристике. Пречник ове опруге се постепено смањује идући од једне ка другој ослоној површини. При дејству силе, више се деформишу завојци већег пречника. Карактеристика опруге је линеарна све до тренутка када 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 [19].



Слика 17. Завојне конусне опруге [20]

4.3 Тањирасте опруге

Тањирасте опруге су конично обликовани метални прстенови који преносе оптерећења у аксијалном смеру. 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 стандардом DIN 2092.

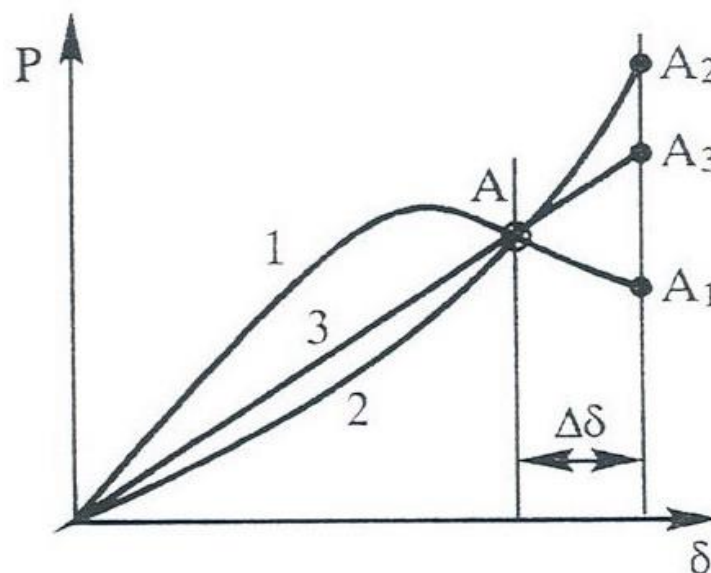


Слика 18. Тањираста опруга [21]

4.4 Карактеристике главних опруга спојнице

Интересантно је анализирати еластичне карактеристике ових опруга приказаних на слици 19. где криве 1, 2 и 3 респективно представљају еластичне карактеристике тањирасте, конусне и цилиндричне опруге.

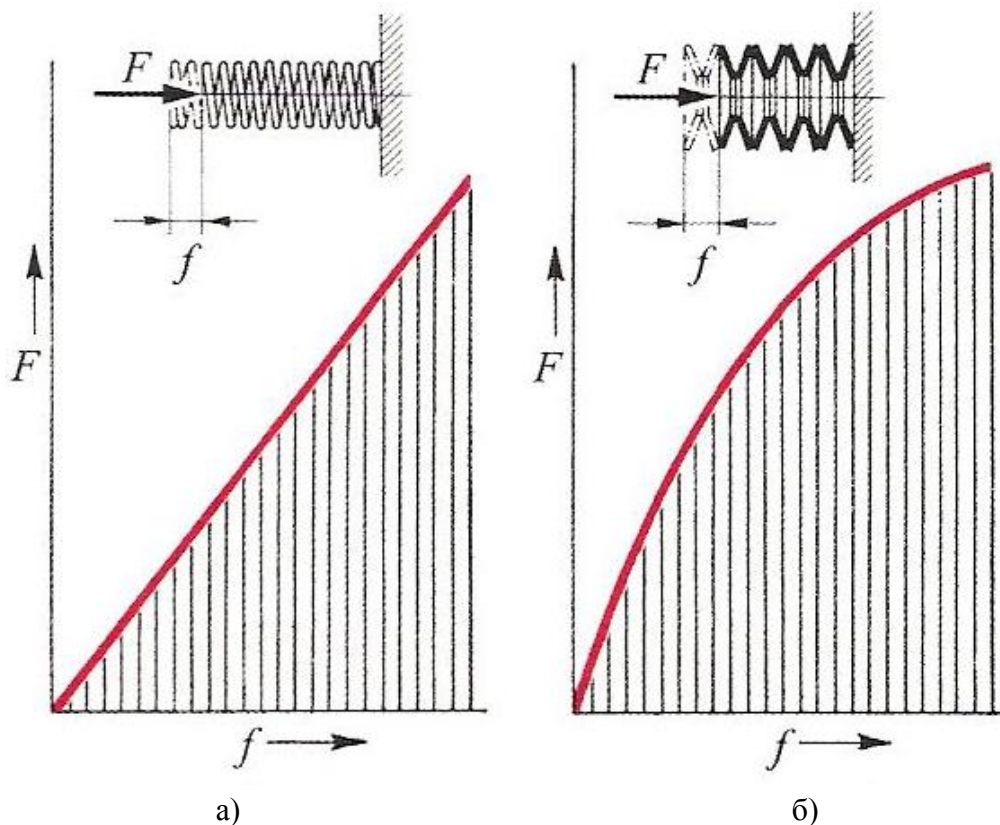
Тачка А представља почетак а тачке $A_i (i=1, 2, 3)$ крај процеса искључивања. Очигледно је да су еластичне карактеристике конусне и цилиндричне опруге такве да смањење деформације доводи до наглог смањења притисне силе. Примена тањирастих опруга доводи до упрошћења конструкције механизма спојнице јер сама опруга истовремено обавља и улогу полука за искључивање. На дијаграму са слике 19. се још може запазити да је за задржавање спојнице са тањирастом опругом у искљученом положају, потребна сила за 30% мања него на почетку искључивања. Спојнице са тањирастом опругом налазе све ширу примену не само у путничком, него и у теретним возилима и аутобусима.[2]



Слика 19. Еластичне карактеристике главних опруга [2]

С обзиром да су опруге такви машински елементи који се при дејству спољашњег оптерећења могу довољно еластично деформисати а да при томе акумулирају механички рад утрошен на ту деформацију, то им се радна способност заснива на претварању механичког рада спољашњих сила у потенцијалну енергију опружног елемента и обрнуто. Из претходне реченице се да закључити да се сразмерно деформацији повећава и потенцијална (акумулирана) енергија.

Зависност оптерећења од деформације представља основну карактеристику опруге која може бити линеарна или код реалних конструкција чешће нелинеарног карактера. Најважнија инжењерска карактеристика опруге јесте њена крутост која служи као основ за даље прорачуне. Под крутошћу опруге се мисли на величину радне силе утрошена на јединицу деформације. Уколико се прикаже промена силе F са угибом опруге f онда се добија графички приказ карактеристике опруге Слика 20а. Када је сила $F=0$ онда је и деформација $f=0$. Када сила нарасте од 0 до највеће вредности, постиже се и највећа деформација те се на овај начин рад спољашњег оптерећења преведе у потенцијалну енергију опруге (шрафиран троугао). Међутим, постоје и случајеви када се конструктивним одабором одређених материјала (гума) или облика опруге постигне нелинеарна карактеристика опруге (крутост није иста за различите вредности силе F). У овом случају имамо регресивну карактеристику опруге. Ако се с повећањем силе опруга све лакше деформира, карактеристика је регресивна (крутост опруге пада). Линеарна зависност се јавља код завојних цилиндричних опруга, а регресивна зависност код тањирастих опруга [22].



Слика 20. Зависност између оптерећења F и деформације опруге f , а) линеарна (равна) зависност, б) регресивна зависност [22]

4.5 Предности и мане главних опруга спојнице

Предности завојних опруга су:

- спојнице са завојним опруга склапају се са потисном плочом у фабрици, и тако се продају на тржишту изједна,
- код дотрајалих опруга, носивост обртног момента у спојници порасте за 10% више него што мотор може да испоручи,
- када се спојница укључи, потисна плоча делује много већом силом него код других опруга,
- опруга се додатно може сабити при покретању замајца.

Предности тањирастих опруга 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, знатно боље искоришћење простора за уградњу него код других врста опруга,
- избором односа величина спољашњег према унутрашњем пречнику $D_s/D_u=2$, постиже се најповољније искоришћење материјала.

Предности завојне опруге у односу на тањирасту опругу су:

- може бити постављено више завојних опруга,
- центрифугална сила чини спојницу чвршћом.

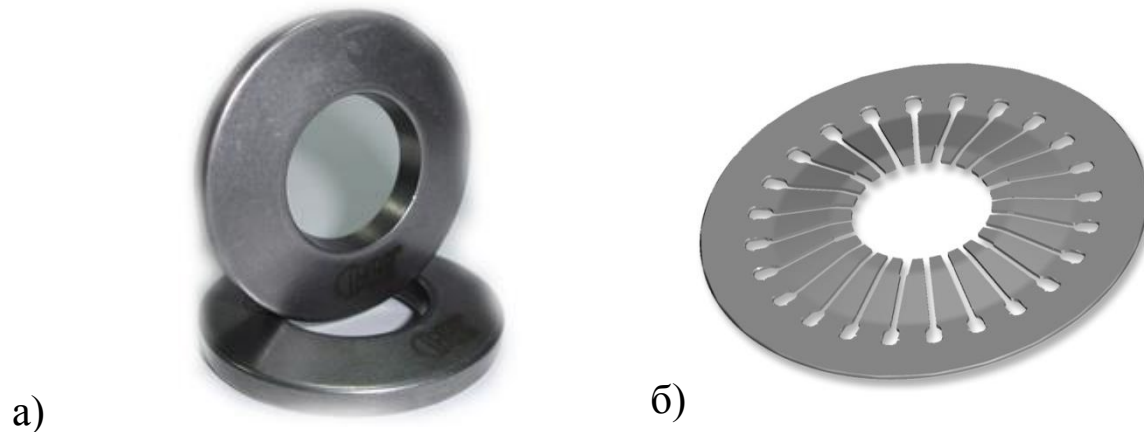
Мане завојне опруге у односу на тањирасту опругу су:

- потребан већи притисак на папучицу спојнице,
- мора бити прецизно балансирана после монтаже [32].

Тањираста опруга фрикционе спојнице

5.0 Врсте тањирастих опруга на тржишту

У Француској 1867, Жулијан Белевил (JulienBelleville) патентира белевил опругу, то јест прстенасту опругу. Ова прстенаста опруга је била основа за данашње тањирасте опруге, и њеним даљим развојем вршен је развој и усавршавање фрикционих спојница са тањирастом опругом.



Слика 21. Изглед тањирасте опруге а) првобитна прстенаста, б) разрезана [15,16]

Тањирасте опруге деле се у три групе према односу D_s/t и h_0/t :

Табела 1. Подела тањирастих опруга према односу D_s/t и h_0/t : [23]

Група	D_s/t	h_0/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 А, В и С према технологији израде дели се у следеће групе:

Табела 2. Технологије израде тањирастих опруга [23]

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.

Тањираста опруга фрикционе спојнице

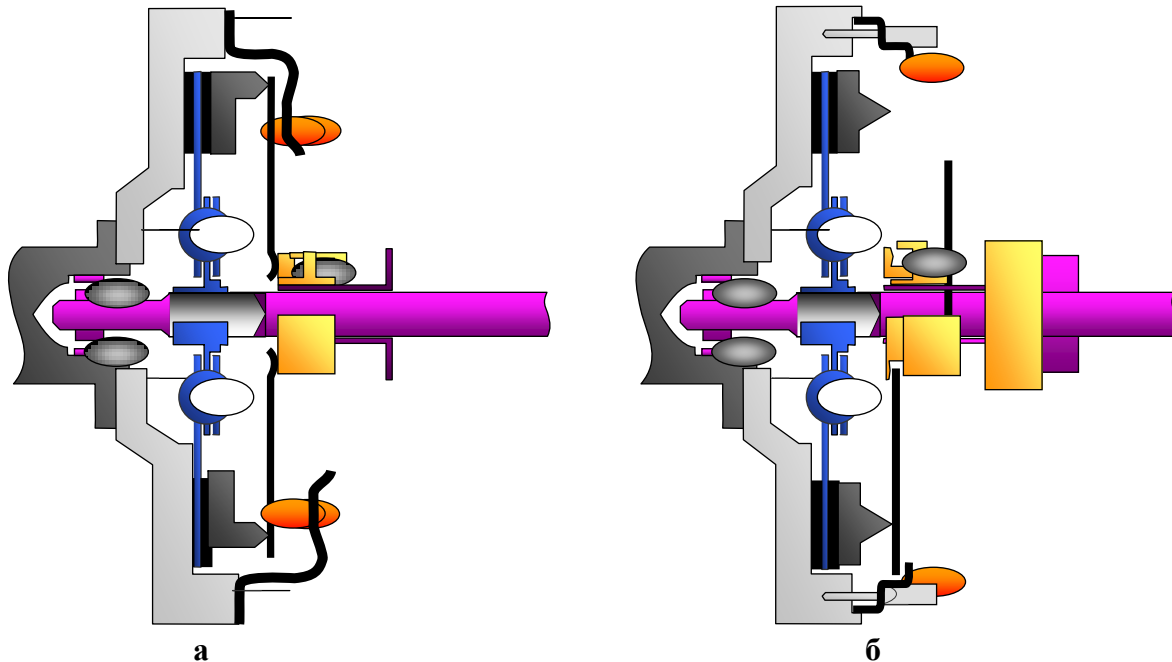
Табела 3. Преглед мера тањирастих опруга по DIN 2093

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	660	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	0.6	2900	1.0	0.8	1150
31.5	16.3	1.75	0.65	4000	1.25	0.9	1950
35.5	18.3	2.0	0.7	5300	1.25	1.0	1750
40	20.4	2.25	0.8	6500	1.5	1.15	2700
45	22.4	2.5	0.9	7900	1.75	1.3	3700
50	25.4	3.0	1.0	12500	2	1.4	4900
56	28.5	3	1.1	11500	2	1.6	4600
63	31	3.5	1.3	15500	2.5	1.75	7400
71	36	4	1.4	21000	2.5	2	6900
80	41	5	1.6	35000	3	2.3	11000
90	46	5.5	1.7	32000	3.5	2.5	14500
100	51	6	2.0	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	190000	8	5.6	79000
225	112	12	5	185000	8	6.5	72000
250	127	14	5.6	225000	10	7	120000

Тањираста опруга фрикционе спојнице

Према начину рада имамо две врсте тањирастих опруга:

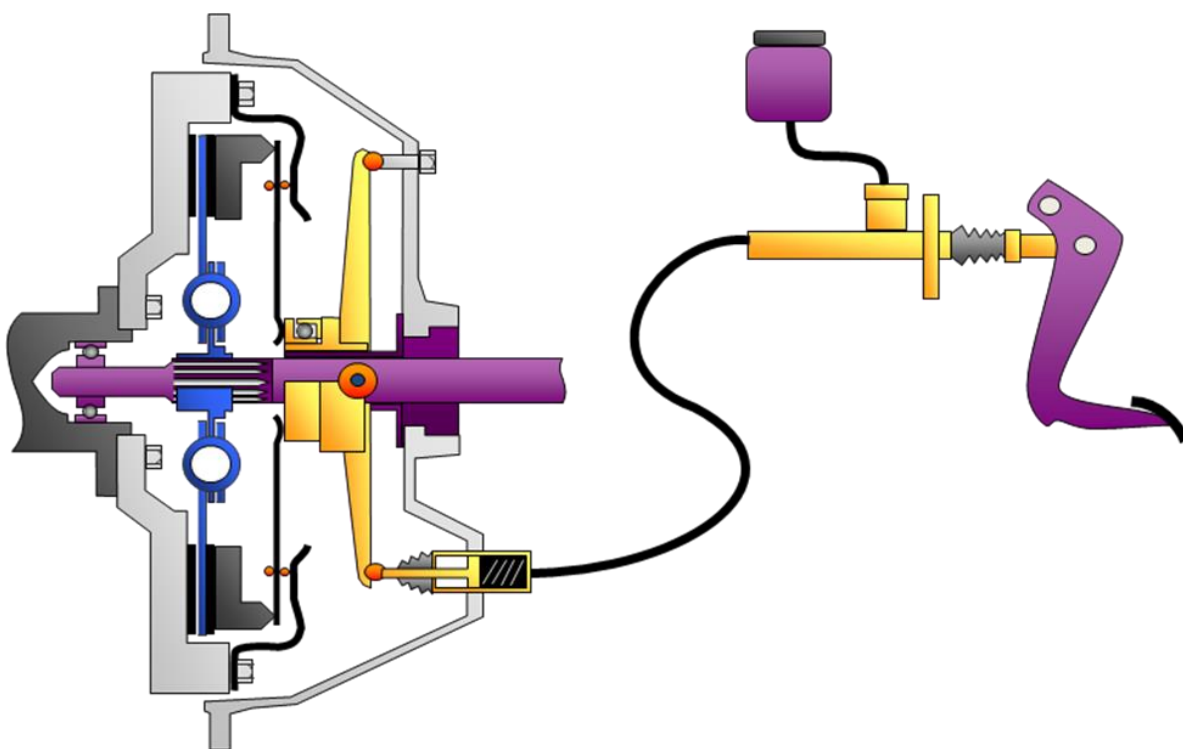
- тањирасте опруге гурајућег типа,
- тањирасте опруге повлачећег типа.



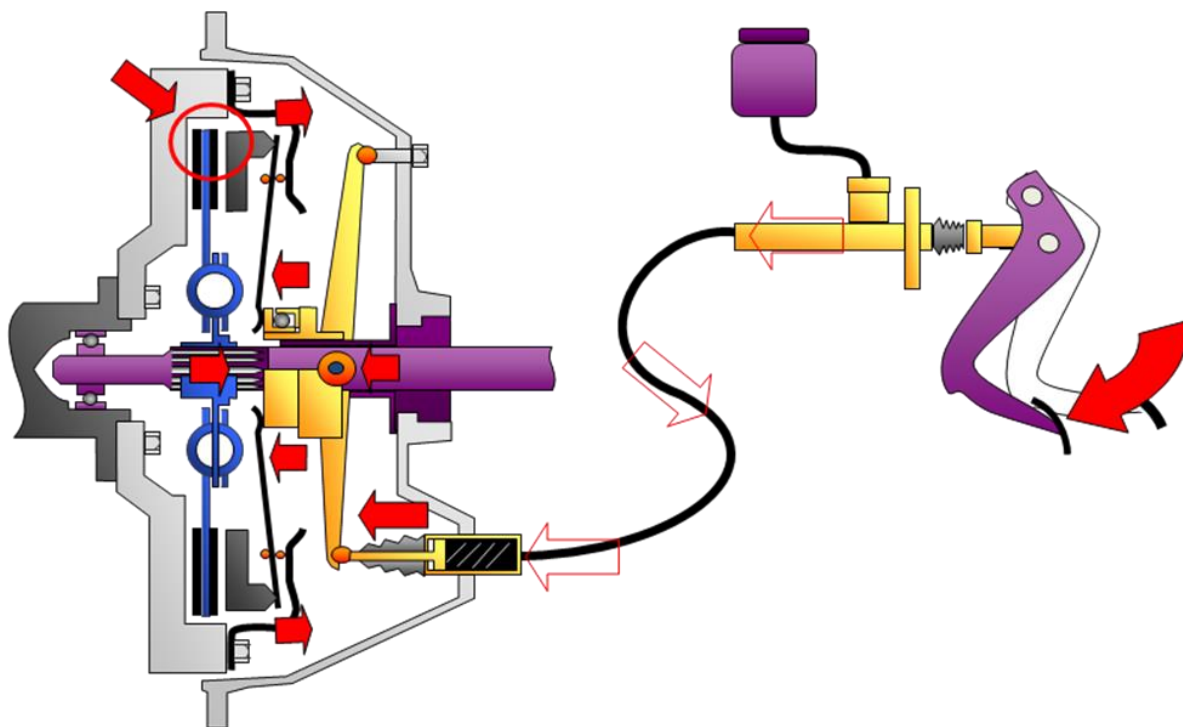
Слика 22. Фрикциона спојница са а) тањирастом опругом гурајућег типа, б) тањирастом опругом повлачећег типа [16]

Тањирасте опруге гурајућег типа

На слици 22. се може видети хидраулички активирана фрикциона спојница са тањирастом опругом гурајућег типа. Код ње је тањираста опруга постављена испред потисног лежаја и при његовом померању по вратилу долази до дејства тањирасте опруге. Такође, у зависности којем типу припада, разликује се ослањање тањирастих опруга и њихово ужљебљење. На слици 23. се може видети кад возач делује на папучицу спојнице и дејство силе преко хидрауличког цилиндра се преноси на виљушку потисног лежаја, који делује на тањирасту опругу и омогућава одвајање потисне плоче од диска, при чему долази до искључења спојнице. Да би се спојница поново укључила довољно је да се попусти папучица спојнице и тањираста опруга се враћа у почетни положај.

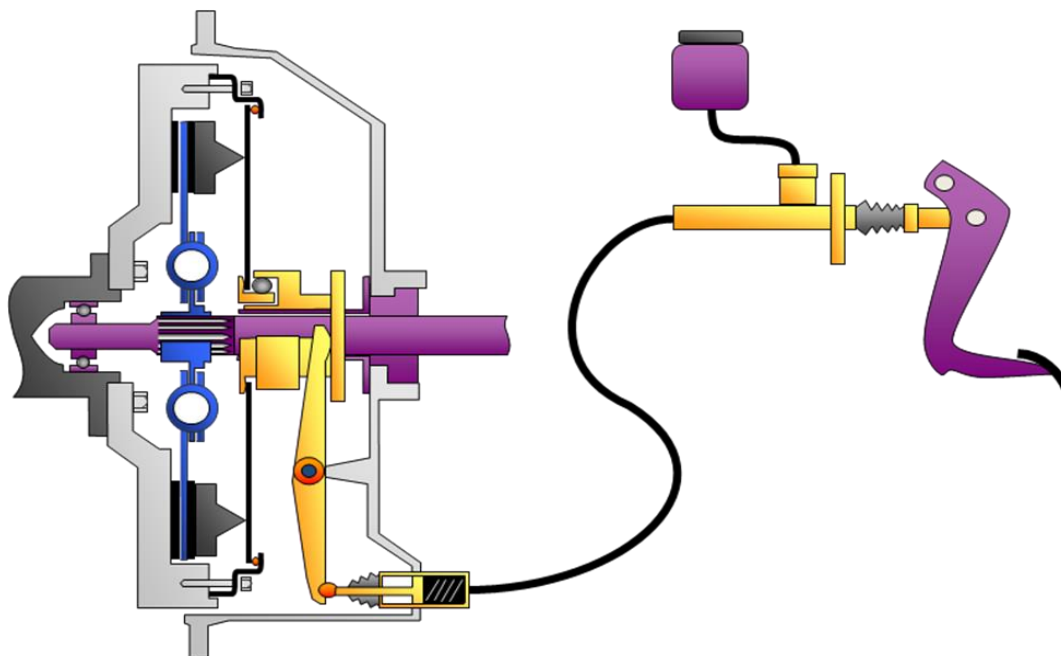


Слика 23. Хидраулички активирана спојница са тањирастом опругом гурајућег типа [16]

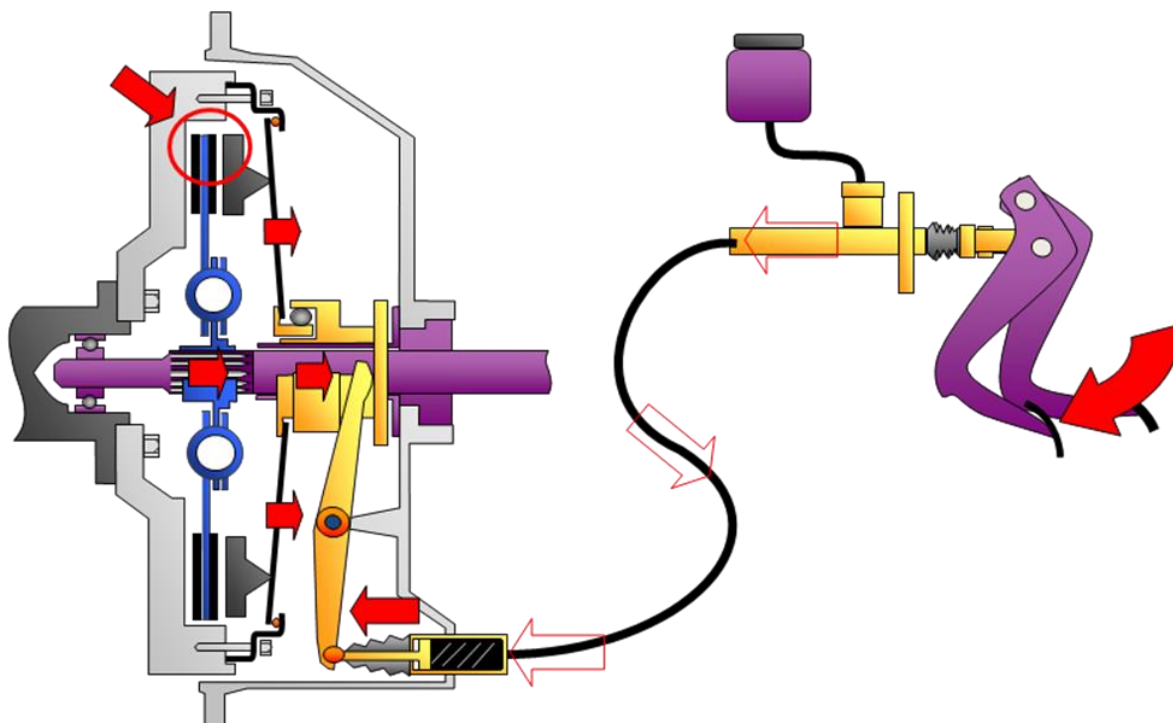


Слика 24. Принцип рада фрикционе спојнице са тањирастом опругом гурајућег типа [16]

Тањираста опруга повлачећег типа



Слика 25. Хидраулички активирана фрикциона спојница са тањирастом опругом повлачећег типа [16]



Слика 26. Рад фрикционе спојнице са тањирастом опругом повлачећег типа [16]

На слици 25. приказана је фрикциона спојница са тањирастом опругом повлачећег типа. Разлика између ове спојнице и спојнице са гурајућом тањирастом опругом је у постављању тањирасте опруге и постављању виљушке која држи потисни лежај. Код спојнице са гурајућом тањирастом опругом, опруга се поставља у лежиште потисног лежаја, а потисна виљушка није ослоњена на вратило, већ има ослонац на кућиште потисне плоче. Кад делујемо на папучицу спојнице, слика 26, сила се преноси разводником на виљушку, која не гура потисни лежај већ га повлачи, а самим тим долази до затезања тањирасте опруге, и искључења спојнице.

5.1 Материјали за израду тањирастих опруга

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 непредвиђеногпреоптерећења, 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 анти-магнетно понашање материјала прописује се за опруге у зависности од њихове примене [24].

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 4. дат је приказ челика за израду тањирастих опруга са наведеним хемијским саставом, својствима као и неметала (табела 5) такође са наведеним хемијским саставом, својствима и модулом еластичности [24].

Тањираста опруга фриктионе спојнице

Табела 4. Карактеристике челика за израду тањирастих опруга [24]

Ознака материјала	%C	%Si	%Mn	%Cr	%V	%Mo	%W	%Ni	Састав	Примедбе
Нормална употреба										
Ck 60	0.6	0.4	0.6	-	-	-	-	-	-	Дебљина тањирасте опруге ≤ 1.5
67 Si Cr S	0.67	1.20	0.5	0.5	-	-	-	-	-	Дебљина тањирасте опруге ≤ 40
58 Si Cr 4	0.58	0.35	1.0	1.0	0.1	-	-	-	-	Дебљина тањирасте Опруге ≥ 40
Високе температуре										
67 Si Cr 5	0.67	1.20	0.5	0.5	-	-	-	-	-	До 300° C
45 Cr Mo V 6-7	0.45	0.35	0.7	1.5	0.3	0.7	-	-	-	До 400° C
30 W Cr V 11-9	0.3	0.35	0.3	2.3	0.6	-	4.2	-	-	До 450° C
65 W Mo 34-8	0.65	0.35	0.3	0.35	0.7	0.8	0.85	-	-	До 600° C
Челик отпоран на корозије										
x 12 Cr Ni 17-7	0.15	1.0	2.0	17	-	-	-	7.5	-	Дебљина тањирасте опруге ≤ 3.0
x 12 Cr Ni Mo 17-7	0.07	1.0	2.0	17	-	-	-	7.5	-	Дебљина тањирасте опруге ≤ 3.0
x 30 Cr 13	0.30	0.4	0.4	13	-	-	-	-	-	Дебљина тањирасте опруге ≤ 2.5
x 35 Cr Mo 17	0.35	0.4	-	16.5	-	1.15	-	-	-	Дебљина тањирасте опруге такође подесна до 400° C >10 mm
Ниска температура										
45 Cr Mo 6-7	0.45	0.35	0.7	1.5	0.3	0.7	-	-	-	До -50° C
x 10 Cr Mn Ni 12-18	0.10	0.35	18	12	-	-	-	1.5	-	Испод -50° C

Тањираста опруга фрикционе спојнице

Табела 5. Карактеристике неметала за израду тањирастих опруга [24]

Ознака материјала Хемијски састав	Хемијски састав	Својства	Модул еластичности N/mm ² на 20°С
Бакар-Берилијум Cu Be 2	2 % Берилијум Остало бакар	а) Постојан на корозију код многих медија б) Немагнетичан в) Врло повољан модул еластичности г) Дозвољено напрезање као код челика	130000
Контрацид- Берилијум В+М-Ве	0.7 % Берилијум 60 % Никл 17 % Гвожђе 15 % Хром 7 % Молибден	а) Постојан на корозију код многих медија б) Немагнетичан в) Повољан модул еластичности г) Дозвољено напрезање као код челика д) За температуре до 400° С	170000
Коситан-Бронза (Федербронза) CuBe 8	7,5-9% Берилијум Остало бакар	а) Постојан на корозију код многих медија б) Немагнетичан в) Повољан модул еластичности г) 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 в) Повољан модул еластичности г) Дозвољено веће напрезање него код челика за температуре до 400° С	130000
Нимоник 90	1,8-3 % Титанијума 18-20 % Хром 0,8-2 % Алуминијум 15-21 % Кобалт Мах 0,1 Угљеника 1,5 % Силицијума 1 % Мангана 5 % Гвожђа Остатак никл	а) За врло високе температуре преко 600° С до 870° С б) Са врло сниженим напрезањем в) Нормалан модул еластичности који са високом температуром опада	197000

5.2. 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. Овимочвршћавањем 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 80 mm. Цинк и кадмијум се примењују у поступку механичко – хемијско понцикованих 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 [24].

6.0 Прорачун неразрезане и разрезане тањирасте опруге

Тањирасте опруге, у свом раду, су изложене двома основним врстама оптерећења, а то су:

- статичко оптерећење
- 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. 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 25) 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 [24].

Основне величине тањирасте опруге:

D_s – спољашњи пречник тањирасте опруге,

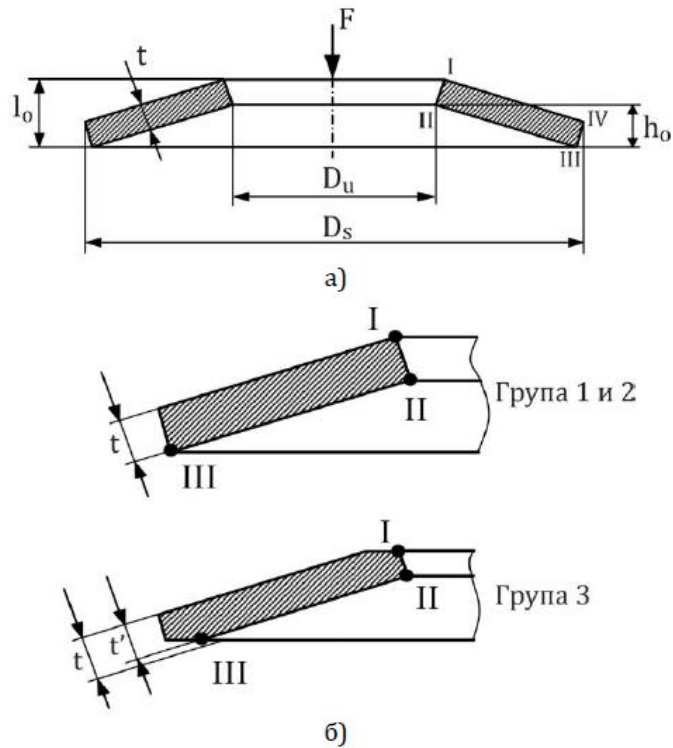
D_u – унутрашњи пречник тањирасте опруге,

k – коефицијенти еластичности материјала опруга,

f – угиб опруге,

h_0 – чиста висина појединачног тањира редуковане дебљине,

t – дебљина опруге.



Слика 27. Врсте тањирастих опруга у попречном пресеку [25]

6.1 Прорачун неразрезане тањирасте опруге

Сила се уводи на местима I и III (слика 27). 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: $k = \frac{4 \cdot E}{1 - \nu^2} = \frac{4 \cdot 206000}{1 - 0,3^2} = 905495 \text{ N/mm}^2$,

$E(\text{N/mm}^2)$ -модул еластичности материјала опруге, ν -Поасонов број материјала опруге, $\nu=0,3$ за жилаве метале.

Фактор односа спољашњег и унутрашњег пречника:

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

Тањираста опруга фриксионе спојнице

Фактори за израчунавање напрезања

$$K_2 = \frac{6}{\pi \cdot \ln \delta} \cdot \left(\frac{\delta - 1}{\ln \delta} - 1 \right)$$
$$K_3 = \frac{3}{\pi} \cdot \frac{\delta - 1}{\ln \delta}$$
(2)

Сила у опрузи зависи од односа f/h_0 и $h_0/t, f$ -угиб.

Сила у опрузи при угибу f :

$$F = \frac{K}{K_1} \cdot \frac{t^3 \cdot f}{D_s^2} \cdot \left[\left(\frac{h_0}{t} - \frac{f}{t} \right) \cdot \left(\frac{h_0}{t} - \frac{f}{2 \cdot t} \right) + 1 \right]$$
(3)

Препоручује се са највећи угиб буде $f_{\max} = 0,75h_0$.

Сила при којој се опруга потпуно изравња, тј. кад је угиб $f = h_0$.

$$F_C = \frac{K}{K_1} \cdot \frac{t^3 \cdot h_0}{D_s^2}$$
(4)

Однос сила:

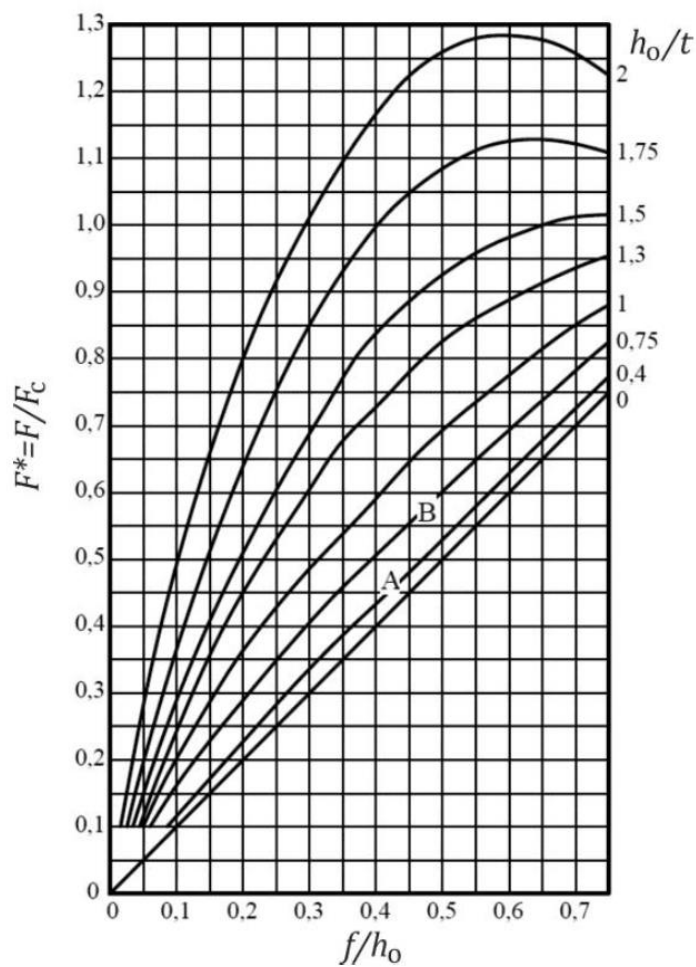
$$F^* = \frac{F}{F_C}$$
(5)

За прорачун се користи дијаграм који за одређену геометрију тањирасте опруге даје зависност силе F (тј. односа F^*) и угиба f слика 28.

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

$$R = \frac{K}{K_1} \cdot \frac{t^3}{D_s^2} \cdot \left[\left(\frac{h_0}{t} \right)^2 - 3 \frac{h_0}{t} \cdot \frac{f}{t} + 1,5 \left(\frac{f}{t} \right)^2 + 1 \right]$$
(6)

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



Слика 28. Карактеристика опруге у функцији параметра h_0/t [26]

Нормално напрезање на сабијање у контролној тачки I:

$$\sigma_I = \frac{K}{K_1} \cdot \frac{t^2}{D_s^2} \cdot \frac{f}{t} \cdot \left[-K_2 \left(\frac{h_0}{t} - \frac{f}{2t} \right) - K_3 \right] \quad (7)$$

Нормално напрезање на сабијање у контролној тачки II:

$$\sigma_{II} = \frac{K}{K_1} \cdot \frac{t^2}{D_s^2} \cdot \frac{f}{t} \cdot \left[-K_2 \left(\frac{h_0}{t} - \frac{f}{2t} \right) - K_3 \right] \quad (8)$$

Тањираста опруга фриксионе спојнице

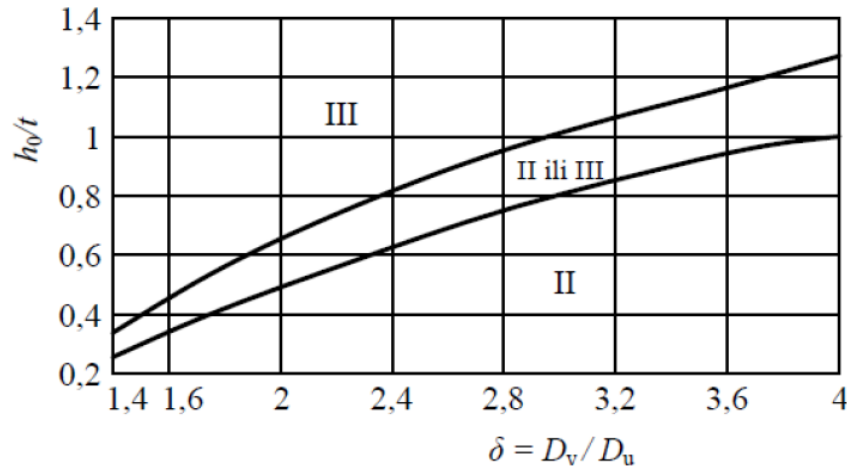
Нормално напрезање на сабијање у контролној тачки III:

$$\sigma_{III} = \frac{K}{K_1} \cdot \frac{t^2}{D_s^2} \cdot \frac{f}{t} \cdot \frac{1}{\delta} \cdot \left[(2 \cdot K_3 - K_2) \cdot \left(\frac{h_0}{t} - \frac{f}{2t} \right) + K_3 \right] \quad (9)$$

Напрезање на сабијање у контролној тачки IV је занемарљиво.

Места I, II, III и IV су тачке у којима делује оптерећење (слика 27). 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 [26].

Код *статичког оптерећења* треба израчунати напрезање у контролној тачки I при угибу $f_{\max} = 0,75h_0$ 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 29. Одређивање меродавне контролне тачке код динамичког оптерећења [26]

Код динамичког оптерећења сила се 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 6. У табели 7. дати су коефицијенти K_1, K_2, K_3 , по DIN 2092. Опруге треба уграђивати с угибом $f_1 = (0,15 \div 0,2)h_0$.

Тањираста опруга фриксионе спојнице

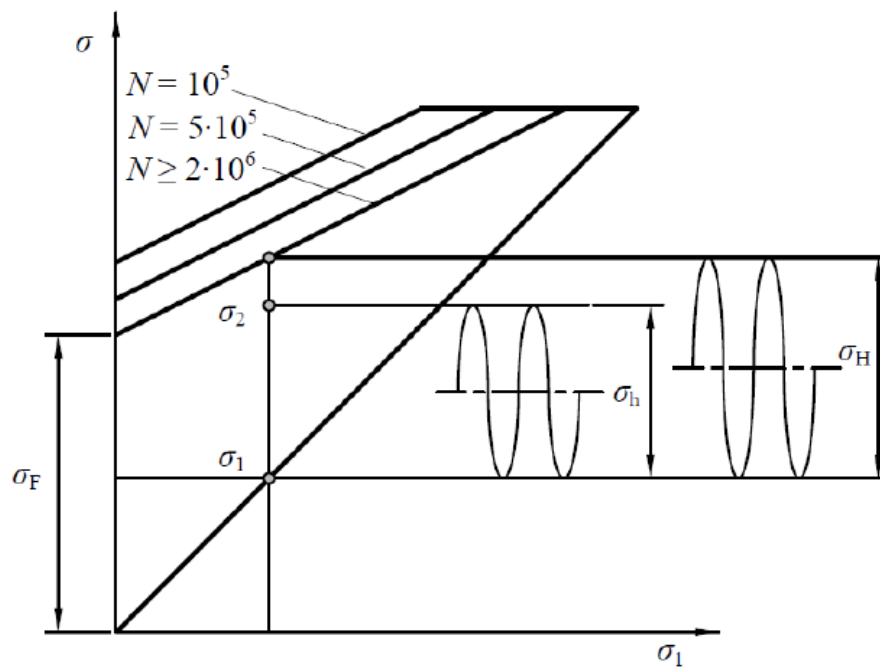
Табела 6. Дозвољена динамичка оптерећења [23]

Статичко или врло ретко динамичко оптерећење (N<5000)				
Угиб опруге		$f \approx 0,75h_o$		$f \approx h_o$
Допуштено напрезање $\sigma_{I\text{dop}}(\text{N/mm}^2)$ у контролоној тачки I		2000÷2400		2600÷3000
Динамичко опуштање				
Дебљина тањира t, mm		<1.25	1.25÷6	6÷14
Динамичка чврстоћа σ_F (N/mm ²) при почетном оптерећењу	N≥2·10 ⁶	730	710	640
	N=5·10 ⁵	840	820	700
	N=10	980	950	770
Допуштено горње напрезање $\sigma_{II\text{dop}}$ (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 на Гудмановом (енг. *Goodman*) дијаграму:

$$\sigma_h = \sigma_{II} - \sigma_I \leq \sigma_H.$$



Слика 30. Гудманов дијаграм [26]

Тањираста опруга фрикционе спојнице

Табела 7. Вредности коефицијенти K_1, K_2, K_3 , по 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				

Крутост опруге c :

$$c = k \cdot \frac{t}{K_1 \cdot D_e^2} \cdot (h_0^2 - 3h_0 f + 1.5f^2 + t^2) \quad (10)$$

Деформациони рад A :

$$A = k \cdot \frac{f^2 t}{2K_1 D_e^2} \left[(h_0 - 0.5f)^2 + t^2 \right] \quad (11)$$

Алтернативне методе

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

- а) метода еластичног коничног диска (*Almen – Laszlo* метода),
- б) метода еластичне равне плоче,
- ц) метода номиналног напона.

Метода еластичног коничног диска заснована је на једначинама које су добили Алмен и Ласло, 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 [27].

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 $h/t < 0,5$).

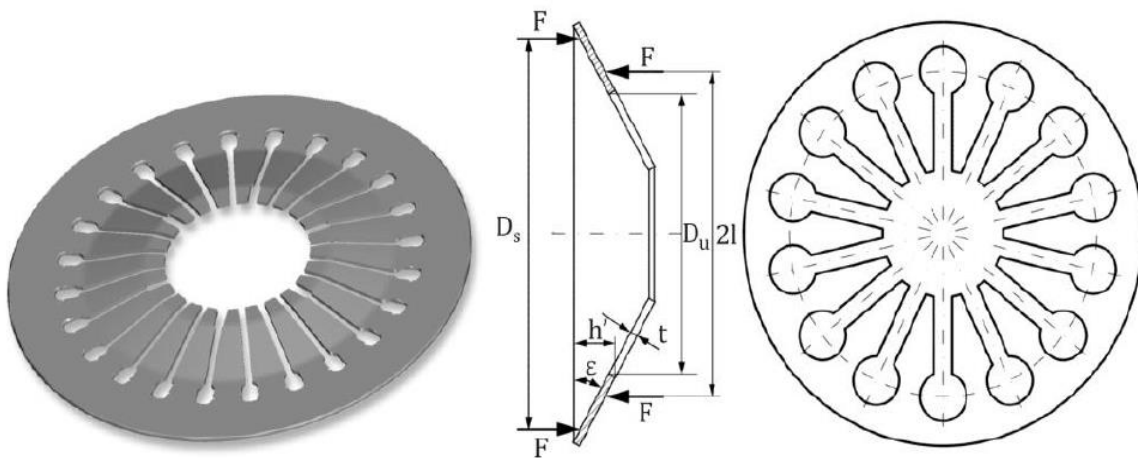
Код методе номиналног напона угиб се израчунава као код метода а) и б), али се напон добија на једноставнији начин при чему се занемарује утицај концентрације напона. Ова метода је примењива само за услове статичког оптерећења и у случају када је опруга скоро равна при оптерећењу. При појави замора материјала не би требало користити ову методу [27].

6.2 Прорачун разрезане тањирасте опруге

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 [23].

Овде је примењена метода еластичног коничног диска, заснована на једначинама које су добили Алмен и Ласло 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 узима се у обзир утицај локализованих пластичних деформација,
- оптерећење делује на ивицама опруге.



Слика 31. Разрезана тањираста опруга [23]

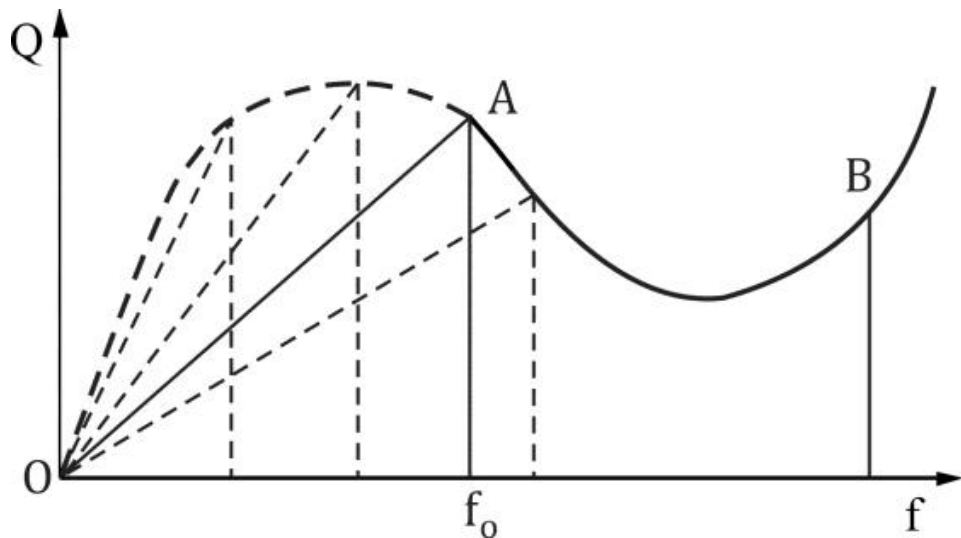
Разрезану тањирасту опругу можемо поделити на два дела:

- опружни прстен,
- опружна пера.

Тањираста опруга фрикционе спојнице

Опружни прстен по својим димензијама, функцијама, карактеристикама у потпуности одговара неразрезаној тањирастој опрузи.

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 [23].



Слика 32. Карактеристике разрезане тањирасте опруге [23]

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

$$Q = \frac{E \cdot f \cdot t}{\frac{D_s}{2} \cdot l \cdot K \cdot (1 - \nu^2)} \left((h_0 - f) \cdot \left(h_0 - \frac{f}{2} \right) + t^2 \right) \quad (12)$$

док је сила на једном перу:

$$Q_1 = \frac{Q}{n} \quad (13)$$

– где је n број пера.

Међутим сила Q не прати ову зависност у целом интервалу угиба f . 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:

Тањираста опруга фриктионе спојнице

$$Q = n \cdot Q_1 = \frac{3 \cdot n \cdot B \cdot f'_1}{l^3} \quad (14)$$

Величине дате у обрасцу (14.0) израчунавају се на следећи начин:

$$l = \frac{Dv}{2} - e \text{ - дужина пера,}$$

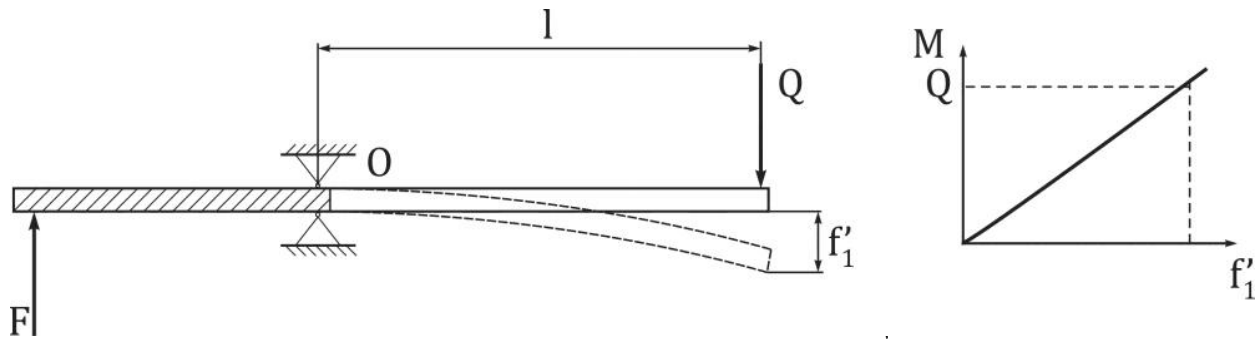
$$B = E \cdot I_x \text{ - крутост опружног пера,}$$

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

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:

$$f'_1 = \frac{E \cdot f \cdot t \cdot l^2}{n \cdot 3 \cdot B \cdot K \cdot (1 - v^2)} \left[(h_0 - f) \cdot \left(h_0 - \frac{f}{2} \right) + t^2 \right], \quad (15)$$

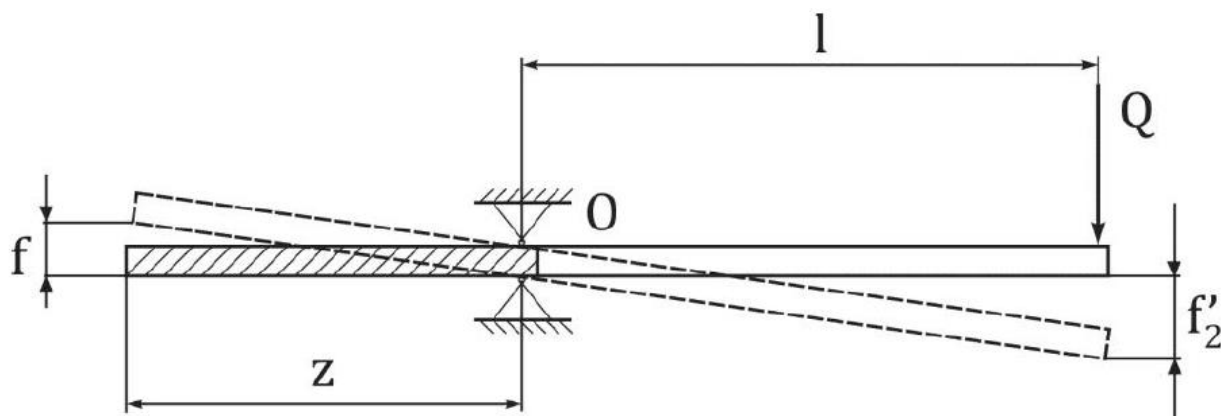
$$\text{где је } \frac{1}{K} = \left(\frac{\delta + 1}{\delta - 1} - \frac{2}{\ln \delta} \right) \pi \left(\frac{\delta}{\delta - 1} \right)^2$$



Слика 33. Одређивање компоненте угиба f'_1 [28]

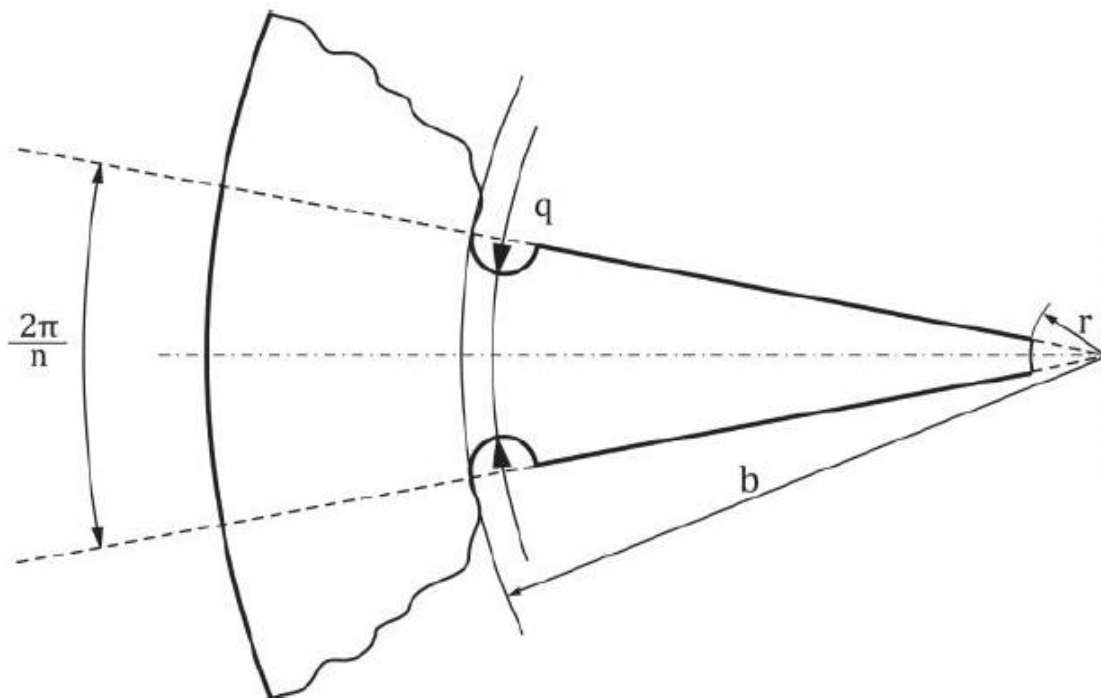
У интервалу услед промене угиба опружног прстена f , на основу слике 34. доћи ће до додатног померања силе Q за угиб f_2 па ће сада укупан угиб бити:

$$f'_1 + f'_2 = f', \text{ где је } f'_2 \cdot z = f \cdot l \quad (16.0)$$



Слика 34. Одређивање компоненте угиба f'_2 [28]

Да би се добила стварна вредност угиба мора се извршити једна корекција једначине (15.0), јер ова једначина даје угиб за једну правоугаону конзолу, док опружна пера имају трапезни облик (слика 35). Поменути израз се множи фактором ξ који зависи од односа p/q , где је p -ширина врха пера, а q -место сужавања пресека пера. Вредности за константу ξ су дата у табели 8.



Слика 35. Опружно перо [28]

Тањираста опруга фрикционе спојнице

Табела 8. Вредности константе ξ [23]

p/q	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ξ	1,4	1,32	1,25	1,2	1,16	1,12	1,08	1,05	1,03	1,0

Напон код опружног пера се одређује из следеће једначине:

$$\sigma_p = \frac{M_s}{W} = \frac{6 \cdot Q \cdot l}{n \cdot q \cdot t^2} \leq \sigma_{doz} \quad (17)$$

Заменом силе Q из једначине (8) добија се максимални угиб који допушта примењени материјал:

$$f_1' = \frac{2 \cdot \xi \cdot l^2 \sigma_{doz}}{3 \cdot E \cdot t} \quad (18.0)$$

Тањираста опруга фрикционе спојнице

7.0 Нумерички прорачун разрезане тањирасте опруге

Спољашњи радијус опруге - $D_s=163 \text{ mm}$,

Унутрашњи радијус опружног прстена - $D_u=128 \text{ mm}$,

Дужина пера - $l=39 \text{ mm}$,

Поасонов коефицијент - $\nu=0,3$,

Дебљина - $t=2 \text{ mm}$,

Висина опруге - $h_0=14,3 \text{ mm}$,

Модул еластичности - $E=2,06 \text{ GPa}$,

Ширина пера на врху - $q = \frac{(120 \cdot \nu)}{18-8} = 13 \text{ mm}$,

Ширина пера на дну - $p = \frac{(40 \cdot \nu)}{18-2} = 5 \text{ mm}$

$\sigma = D_s / D_u = 163/128 = 1,2734$

Опружни прстен

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

Висина опружног прстена:

$$h' = \frac{h_0 \cdot \frac{D_s - D_u}{2}}{\frac{D_s}{2}} = \frac{14,3 \cdot \frac{163-128}{2}}{\frac{163}{2}} = 3,07 \text{ mm}$$

Сила која делује на опружни прстен за највећи препоручени угиб:

$$F = \frac{E \cdot f_{\max} \cdot t}{\left(\frac{D_s}{2}\right)^2 \cdot K(1-\nu^2)} \cdot \left(\left(h' - f_{\max}\right) \cdot \left(h' - \frac{f_{\max}}{2}\right) + t^2 \right) =$$
$$F = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 0,75 \cdot 14,3 \cdot 2}{\left(\frac{163}{2}\right)^2 \cdot 2,5 \cdot (1-0,3^2)} \cdot \left((3,07 - 0,75 \cdot 2) \cdot \left(3,07 - \frac{0,75 \cdot 2}{2}\right) + 2^2 \right) =$$
$$F = 2356,051 \text{ N}$$

Из једначине (15) ћемо добити вредност за коефицијент K .

Тањираста опруга фрикционе спојнице

где је

$$\frac{1}{K} = \left(\frac{\delta+1}{\delta-1} - \frac{2}{\ln \delta} \right) \pi \left(\frac{\delta}{\delta-1} \right)^2 =$$
$$\frac{1}{K} = \left(\frac{1,2734+1}{1,2734-1} - \frac{2}{\ln 1,2734} \right) \pi \left(\frac{1,2734}{1,2734-1} \right)^2 =$$
$$\frac{1}{K} = 3,06 \Rightarrow K = \frac{1}{3,06} = 0,326$$

Опругно перо

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

$$f'_1 = \xi \frac{E \cdot f_{\max} \cdot t \cdot l^2}{n \cdot 3 \cdot B \cdot K \cdot (1-\nu^2)} \left[\left(h_0 - f_{\max} \right) \cdot \left(h_0 - \frac{f_{\max}}{2} \right) + t^2 \right],$$
$$f'_1 = 1,2 \cdot \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 2,3 \cdot 2 \cdot 39^2}{18 \cdot 3 \cdot 6,66 \cdot 10^6 \cdot 0,326 \cdot (1-0,3^2)} \left[(14,3 - 2,3) \cdot \left(14,3 - \frac{2,3}{2} \right) + 2^2 \right]$$
$$f'_1 = 20,845 \text{ mm}$$

$$I_x = \frac{p \cdot t^3}{12} = \frac{5 \cdot 2^3}{12} = 3,33 \text{ mm}$$

$$B = E \cdot I_x = 2 \cdot 10^6 \cdot 3,33 = 6,66 \cdot 10^6 \text{ N / mm}$$

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

B = крутост опругног пера,

I_x - момент инерције пера.

Други део угиба настаје ротацијом уз додатно померање силе:

$$f'_2 = \frac{f_{\max} \cdot l}{z} = \frac{2,3 \cdot 38}{21,5} = 4,06 \text{ mm}$$

Укупан угиб се добија сабирањем претходних чланова:

$$f' = f'_1 + f'_2 = 20,845 + 4,06 = 24,905 \text{ mm}$$

8.0 *Моделирање и Структурна анализа тањирасте опруге*

Моделирање и структурна анализа тањирасте опруге урађена је у програму *AutodeskInventorProfessional 2014*. У овом програмском пакету кориснику је омогућено да интегрише симулацију покрета и анализу напона у 3D окружењу. Такође корисник може да симулира карактеристике трења, оптерећења, да покрене динамичке тестове симулације и да приказ како производ ради при реалним условима. Ови алати могу да помогну кориснику при оптимизацији снаге и тежине, идентификовању подручја високог напона, идентификују вибрације и многе друге симулације делова, склопова и система. Овај програмски пакет подржава документа урађена у следећим програмским пакетима *CATIAV5, JT 6, JT 7, Parasolid, Granite, UG-NX, SolidWorks, Pro/E, и SAT* документа, чиме омогућава кориснику бољу сарадњу са онима који не користе овај програм.

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 [34].

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 равanske пројекције[34].

Равanske 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

Тањираста опруга фрикционе спојнице

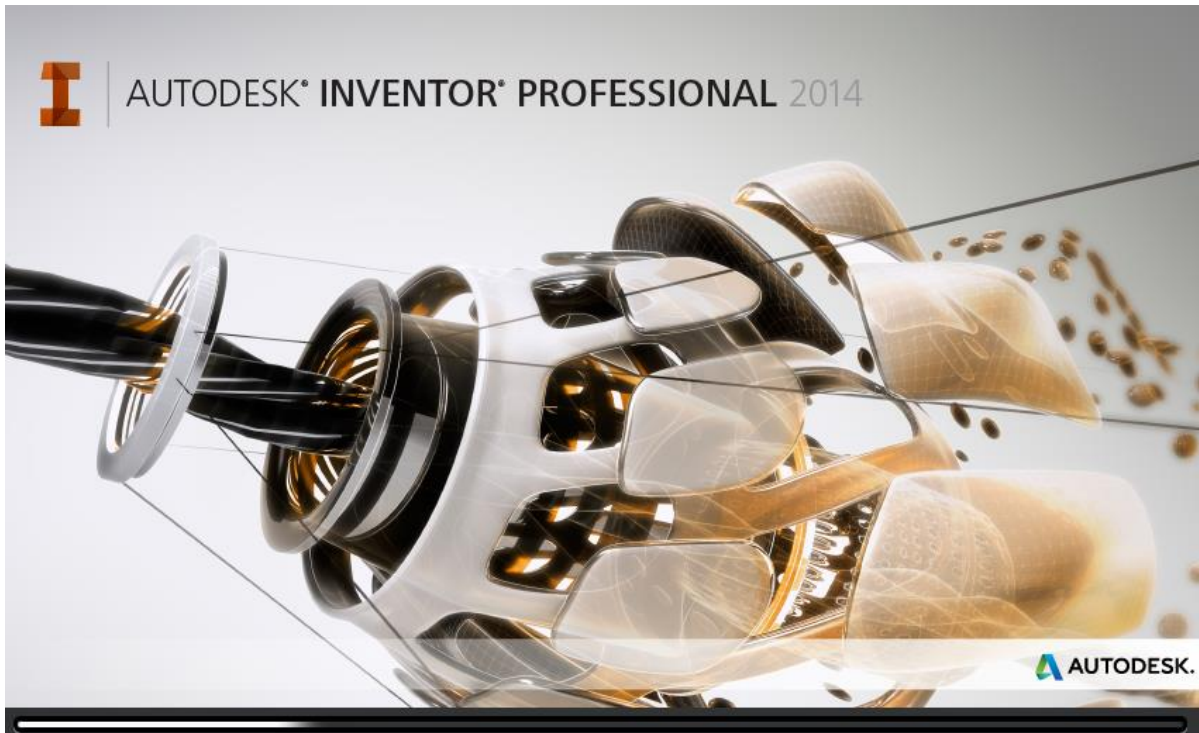
генерисања моделске форме. Постоје три основне врсте модела које се користе у рачунарском пројектовању производа, односно моделирању[34].

То су:

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

Програмски пакет *AutodeskInventorProfessional 2014* се покреће дуплим кликом на икону .

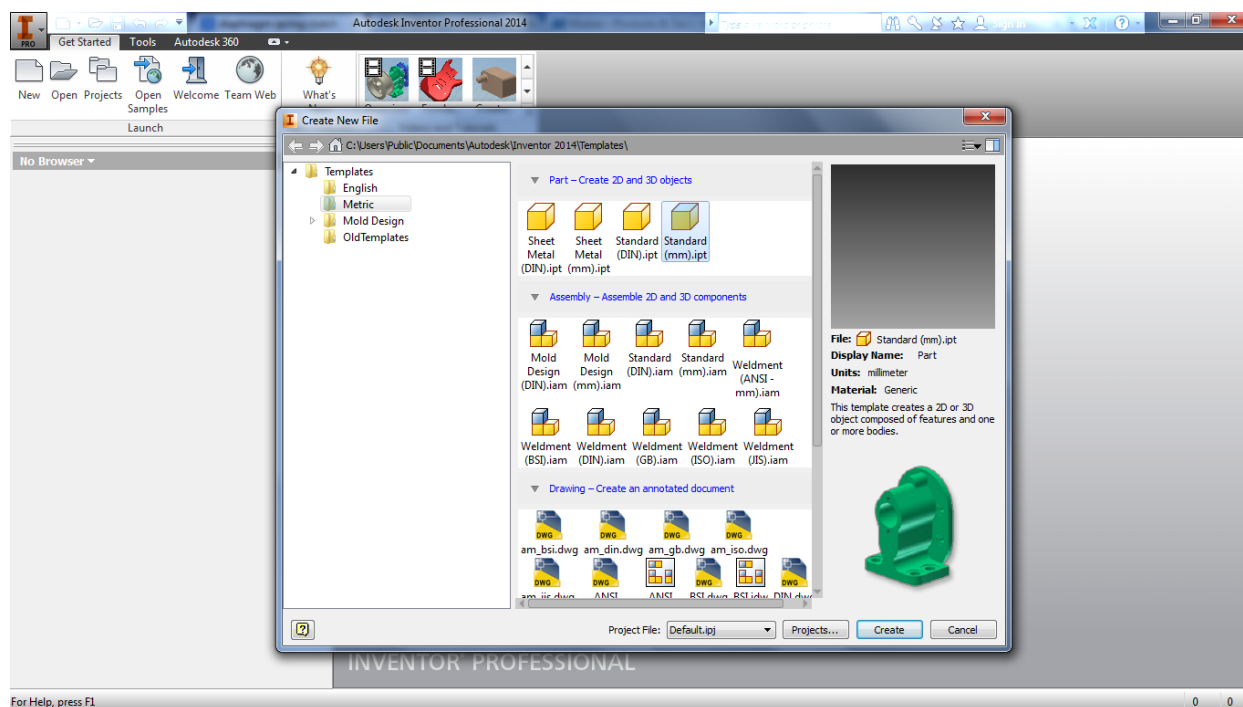
У зависности од подешавања (основно системско или корисничко), после поздравног прозора слика 35. појавиће се једно од окружења приказаних на слици 36.



Слика 35.Поздравни прозор *Auto desk Inventor Professional 2014*

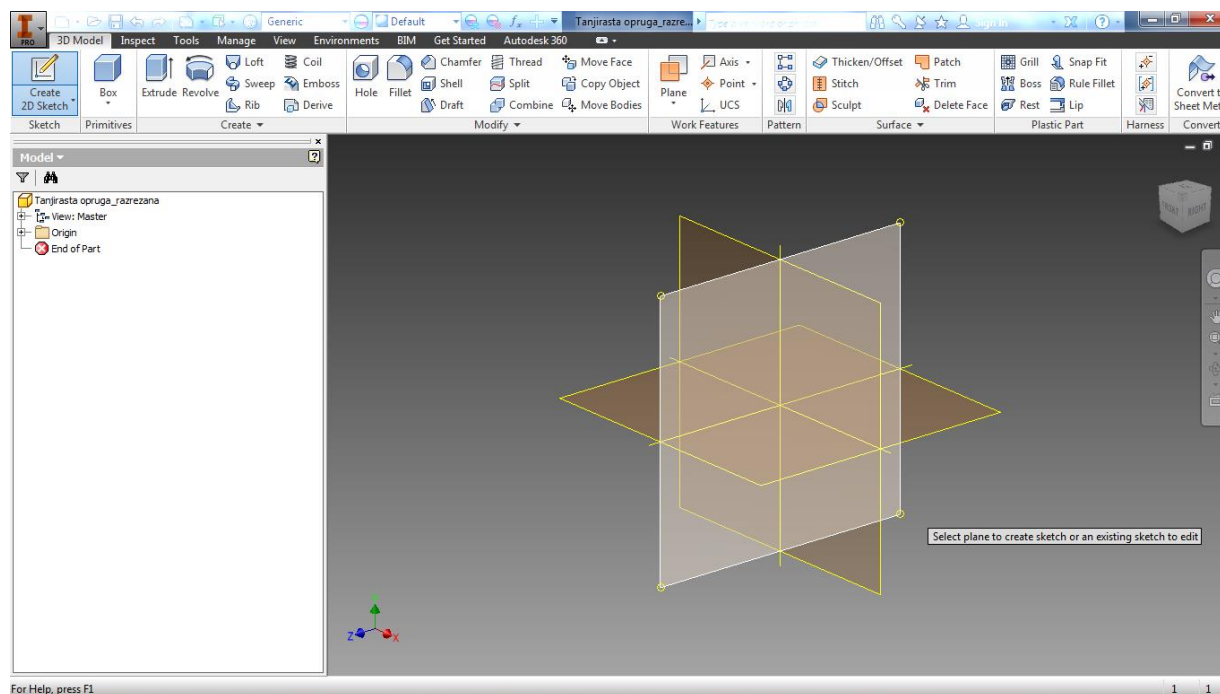
У прозору приказаном на слици 36. врши се креирање новог документа, избор метричких јединица и избор екстензије у којој ће документ бити сачуван.

Тањираста опруга фрикционе спојнице



Слика 36. Почетно програмско окружење *Auto desk Inventor Professional 2014*

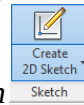
Када се изврше почетна подешавања, отвора се радна површина *Auto desk Inventor Professional*, у коме почиње моделирање тањирасте опруге.



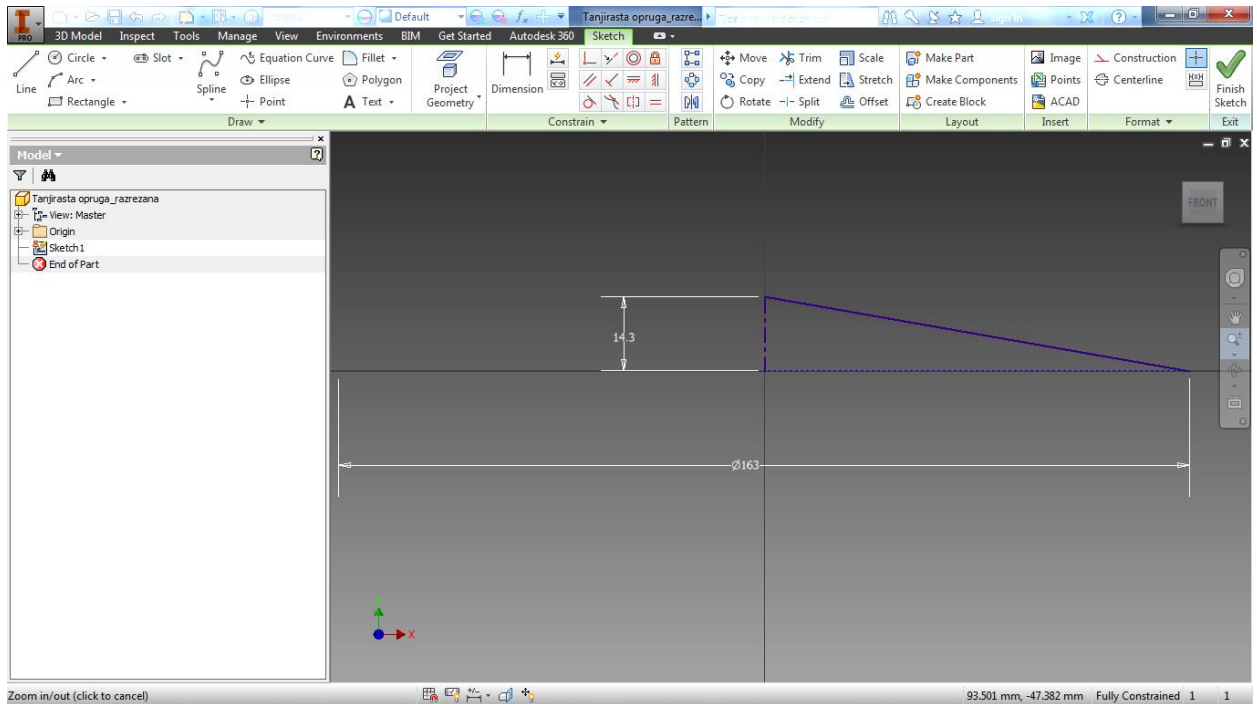
Слика 37. Избор равни за рад у 2D моду

Тањираста опруга фрикционе спојнице

Почетак моделирања почиње одабиром равни у којој ће се нацртати 2D цртеж и у ком ће се дефинисати основне димензије тањирасте опруге. Избор равни се може видети



на слици 37. Кликком на икону *Create 2DSketch* покреће се 2D радно окружење. У овом радном окружењу нацртан је попречни пресек тањирасте опруге и дате су његове основне димензије, што се може видети на следећој слици.



Слика 38. Цртање и димензионисање попречног пресека тањирасте опруге

После завршеног цртања у 2D окружењу, повратак у 3D окружење врши се преко иконе

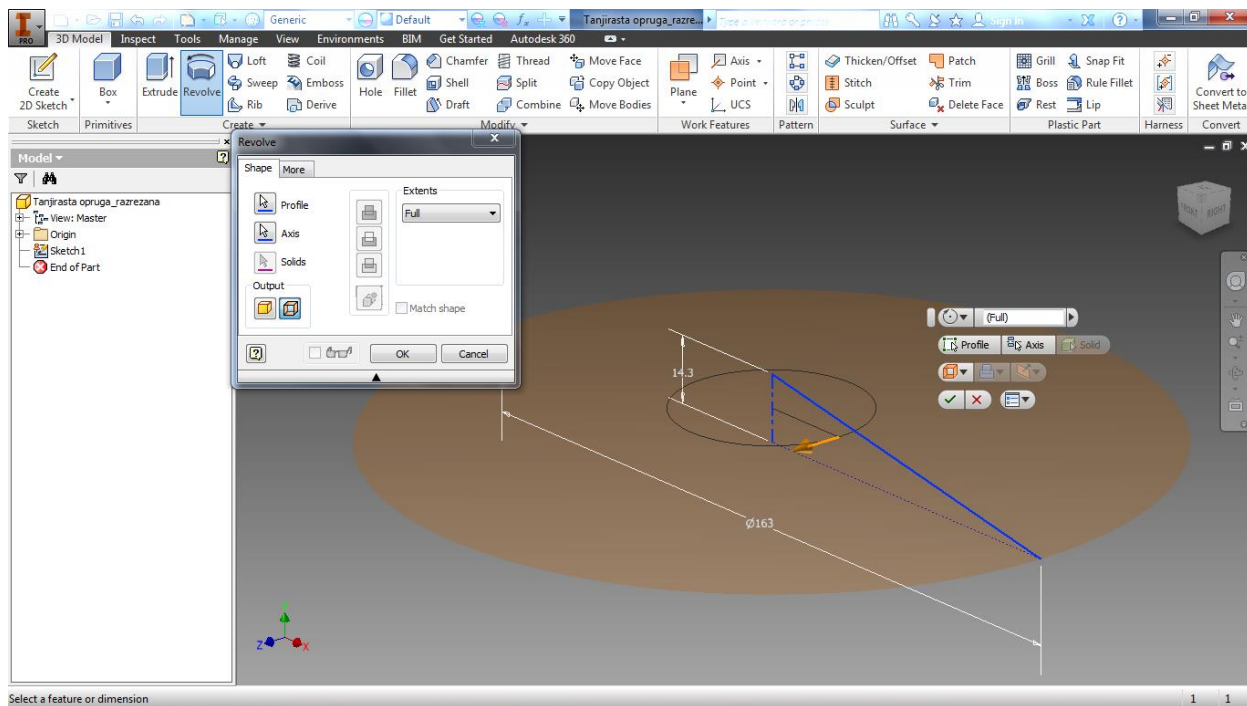


FinishSketch.

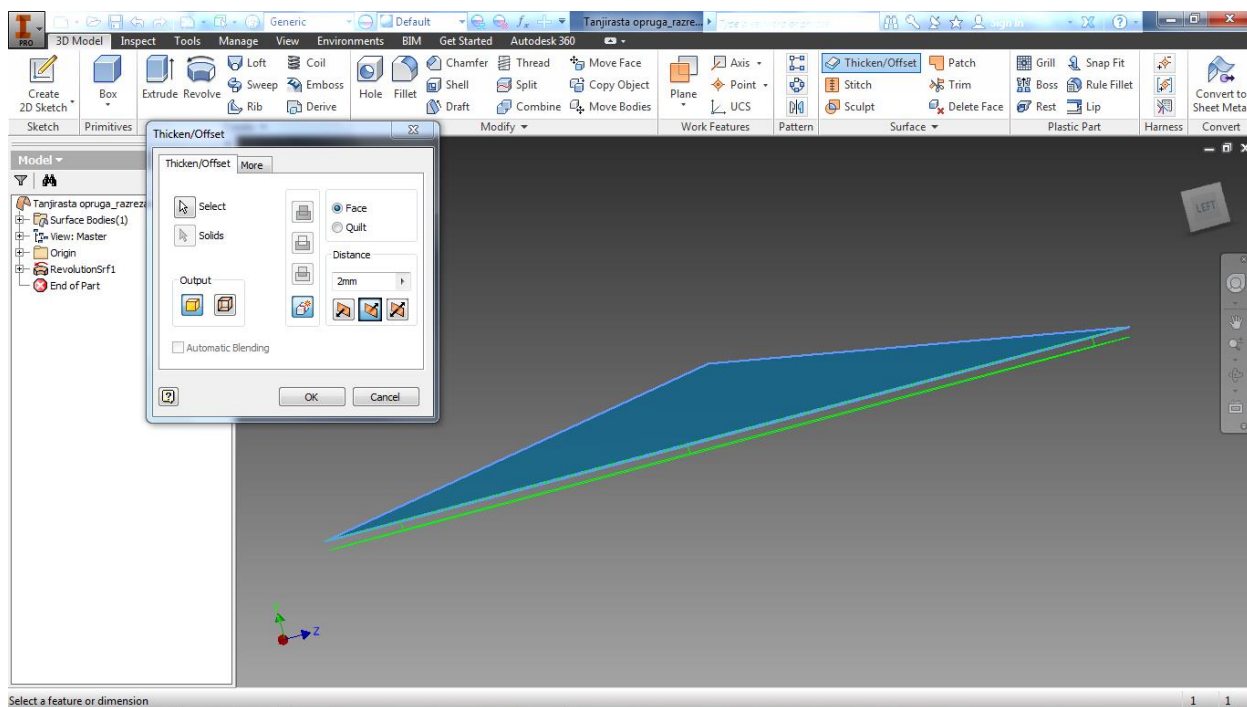


По повратку у 3D окружење користећи икону *Revolve* заротираће се попречни пресек за 360° и добити потпуни облик тањирасте опруге. Ова операција приказана је на слици 39.

Тањираста опруга фрикционе спојнице

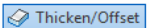


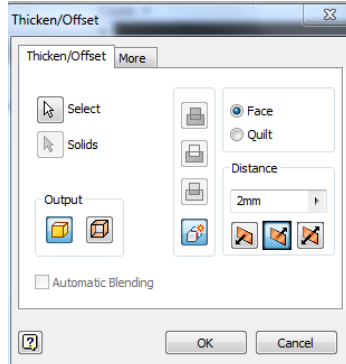
Слика 39. Ротирање попречног пресека тањирасте опруге



Слика 40. Додавање дебљине тањирастој опрузи

Тањираста опруга фрикционе спојнице

Пошто је добијен облик тањирасте опруге, потребно је додати му и дебљину, што је и приказано на слици 40. То ће бити урађено помоћу иконе *Thicken/Offset* . Кликом на ову икону отвара се прозор *Thicken/Offset* у коме се врши додавање дебљине материјала и избор смера према коме ће се материјал додати.

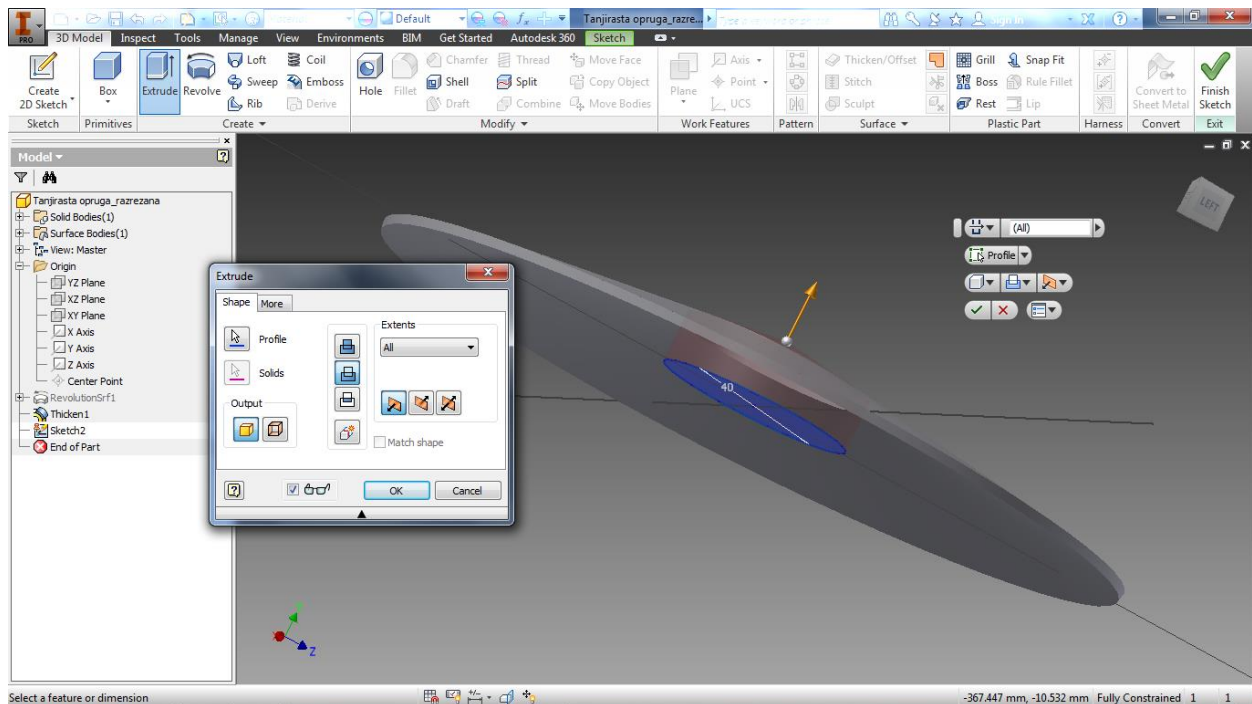


Слика 41. Прозор *Thicken/Offset*

На садашњем моделу треба просећи отвор, за ову операцију се улази у 2D окружење, нацрта круг пречника који одговара димензијама отвора тањирасте опруге.



Кликом на икону *Extrude*  отвара се истоимени прозор у коме се одређује смер просецања, а за основу се бира круг нацртан у 2D окружењу.

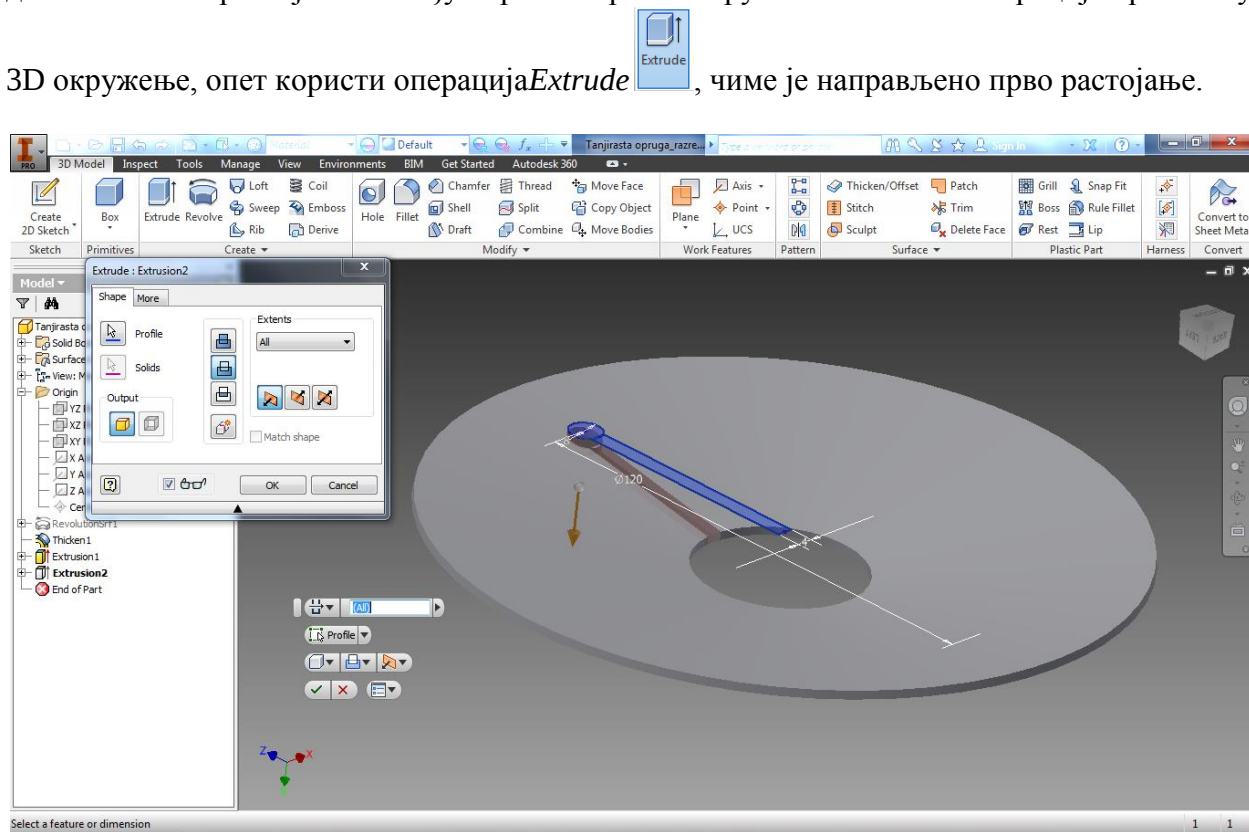


Слика 42. Пробијање отвора на тањирастој опрузи

Тањираста опруга фрикционе спојнице

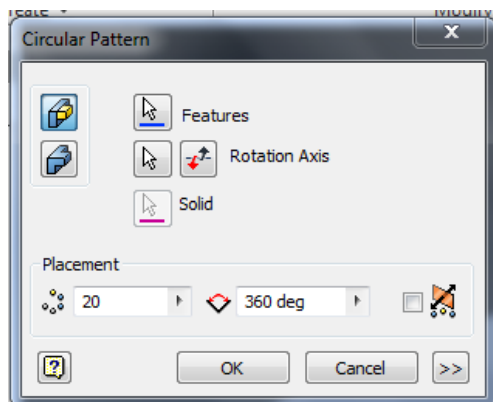
После пробијања отвора поново се улази у 2D окружење где се црта и димензионише растојање између пера тањирасте опруге. После ових операција враћа се у

3D окружење, опет користи операција *Extrude*, чиме је направљено прво растојање.



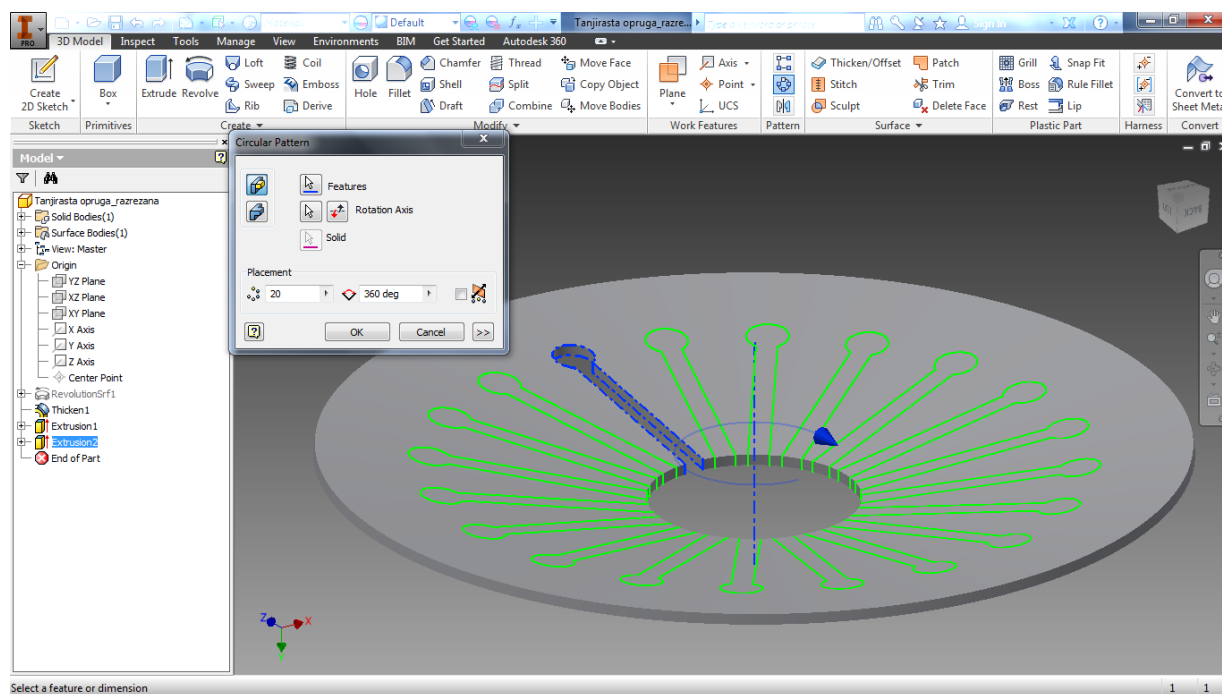
Слика 43.Цртање растојања између пера

Да би се добио коначан изглед тањирасте опруге извршиће се умножавање отвора, покретањем иконе *Circular Pattern*. Када се покрене ова икона отвара се прозор са слике 44. У овом прозору се подешава оса око које се врши умножавање, колико пута се умножава селектовани облик, и за колико степени.



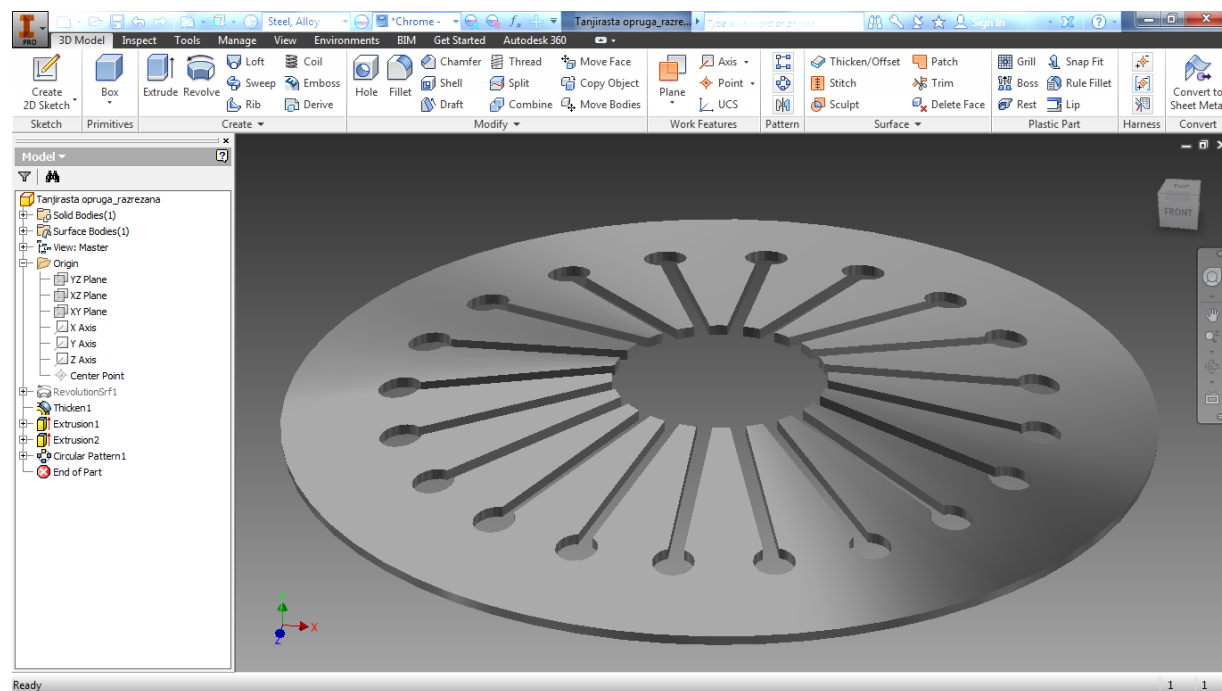
Слика 44.Прозор *Circular Pattern*

Тањираста опруга фрикционе спојнице



Слика 45. Умножавање растојање

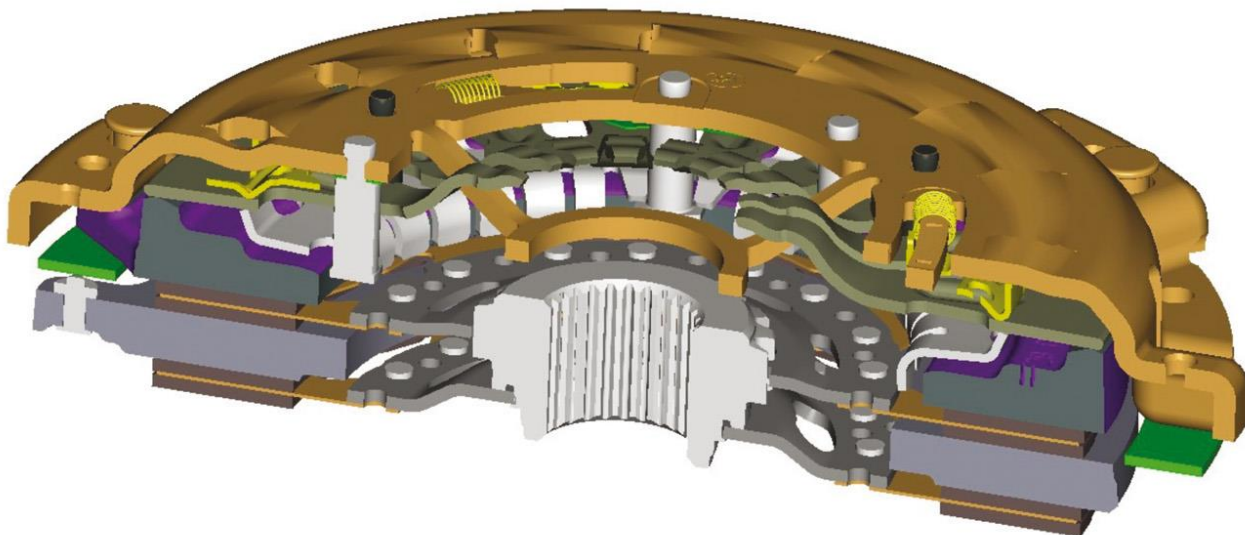
Тањираста опруга сад изгледа као на слици 46. и на њој се сад треба још извршити проширења, због тога што нису сви отвори на почетку пера исти.



Слика 46. Тањираста опруга

Тањираста опруга фрикционе спојнице

Отвори округлог попречног пресека се користе да кроз њих прођу вијци који неће дозволити тањирастој опрузи да ротира у унутрашњости потисне плоче, већ је само воде у аксијалном правцу. На слици 47. се виде вијци обојени белом бојом.



Слика 47. Попречни пресек тањирасте опруге [29]

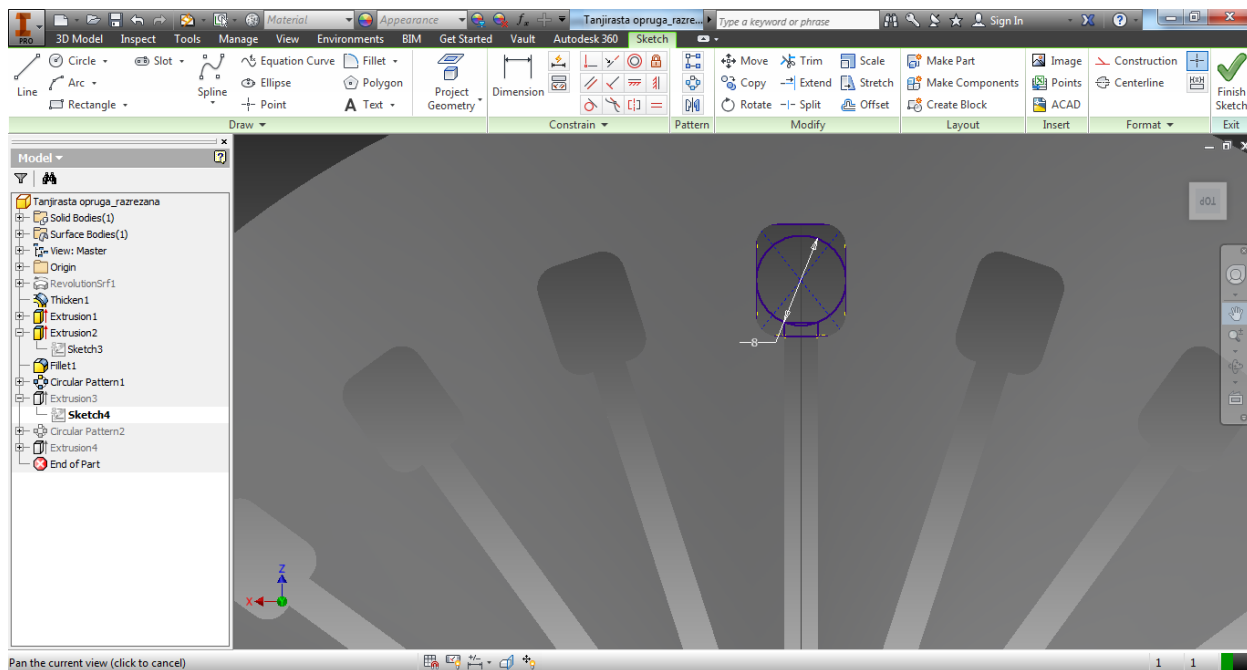
Од двадесет отвора пет је намењено за вијке, а остатак је намењен за канце потисне плоче, којима се тањираста опруга учвршћује уз потисну плочу.



Слика 48. Канце потисне плоче закачене за тањирасту опругу [30]

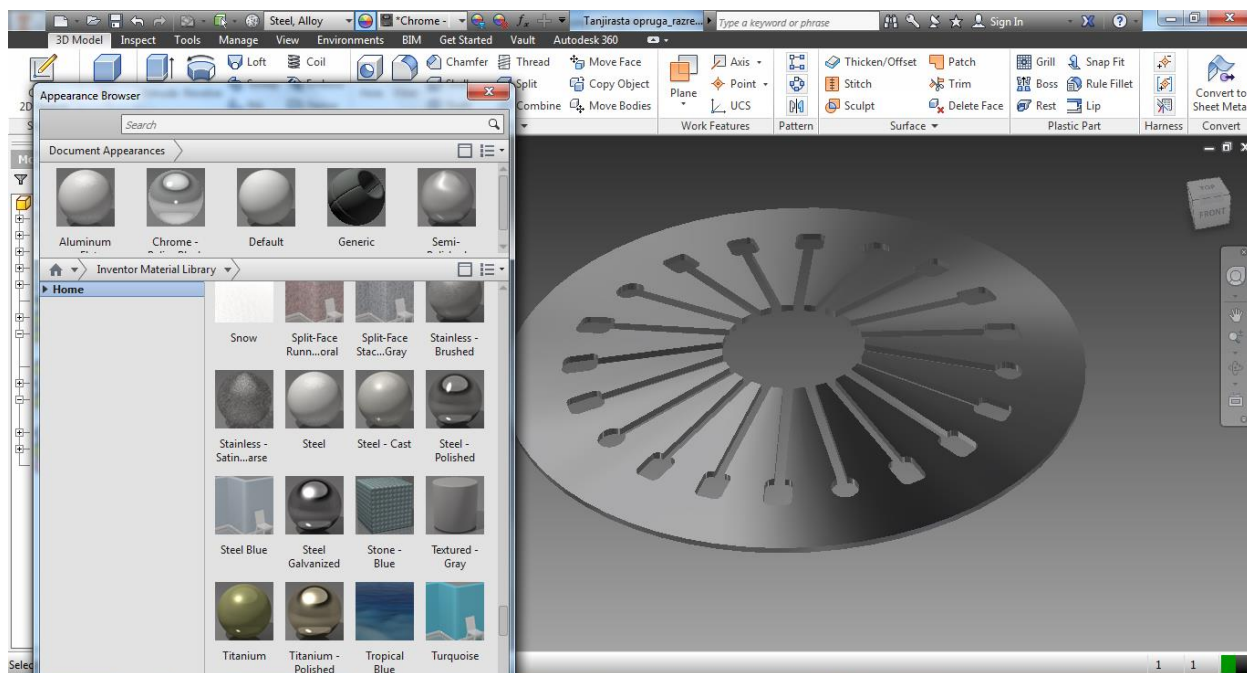
Зато сад отворе за канце треба преправити у 2D окружењу као што је урађено на слици 49.

Тањираста опруга фрикционе спојнице



Слика 49. Измена отвора за канџу потисне плоче

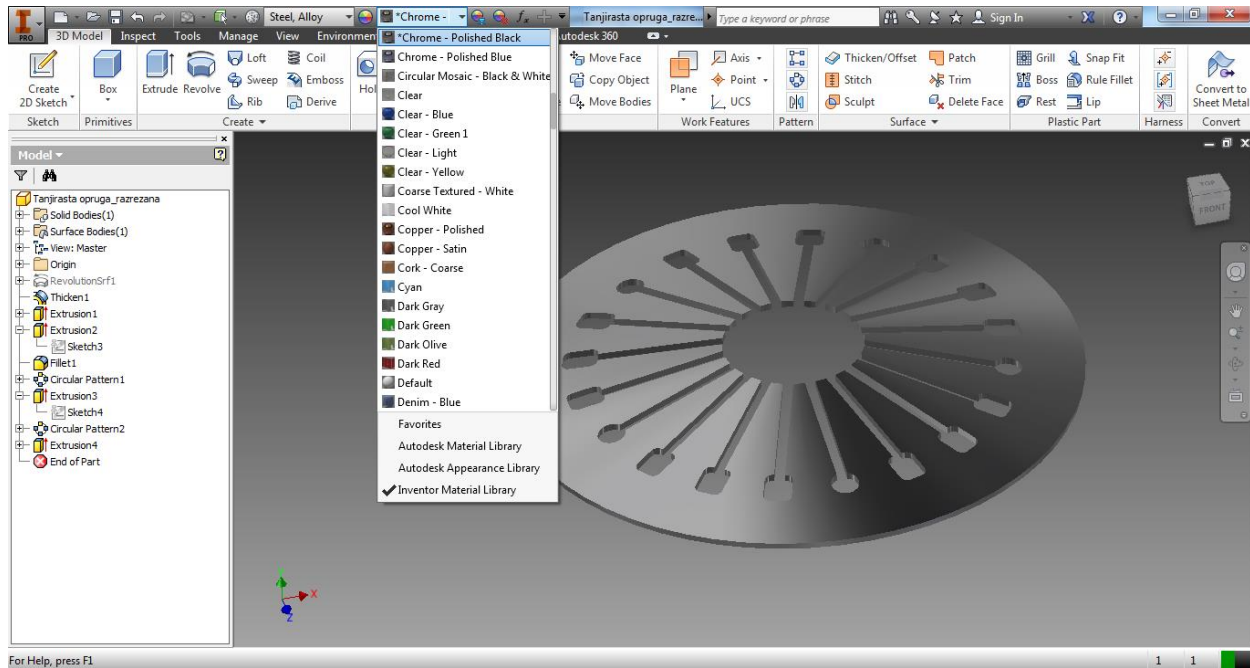
Сада је добијен готов цртеж тањирасте опруге. За даљу структурну анализу потребно је моделу доделити материјал. У овом случају узет је легирани челик из програмске палете материјала.



Слика 50. Додавање материјала

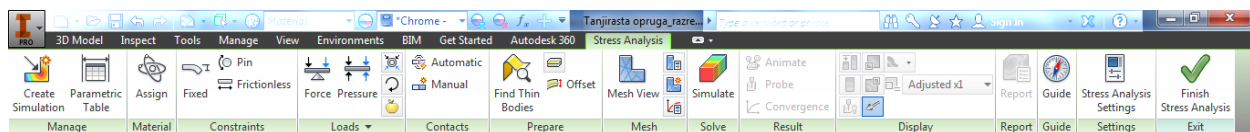
Тањираста опруга фрикционе спојнице

Када је за материјал изабран легирани челик, потребно је да се изабере којим ће се материјалом легирати. У овом случају то је урађено хромом, јер хром повећава механичке особине челика (отпорност на хабање, затезна чврстоћа).



Слика 51. Додавање материјала којим се легира

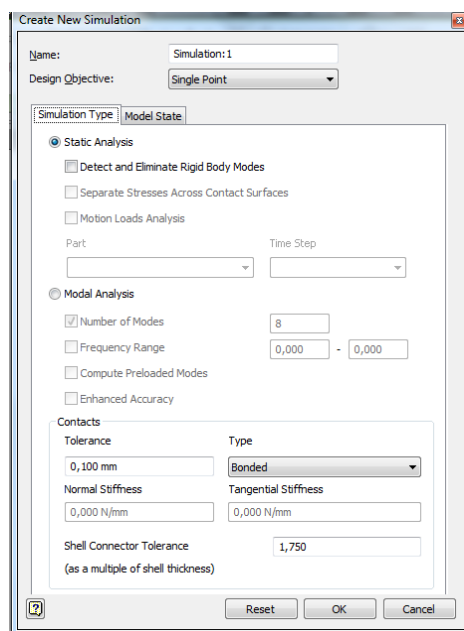
Сад је готов модел тањирасте опруге и може се почети са структурном анализом, отварањем поља *Environments*, па кликом на икону *Stress Analysis*  отварају се иконе потребне за анализу, симулацију и анимацију.



Слика 52. Stress Analysis мени

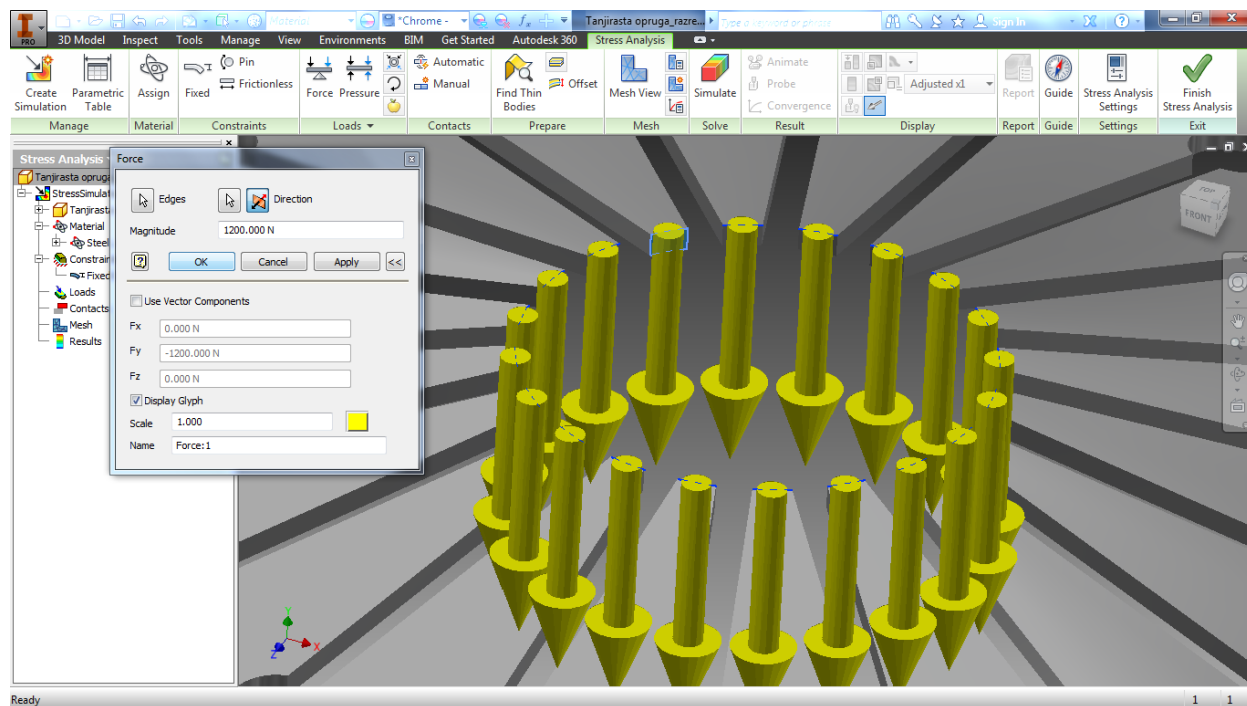
Покретањем иконе *Create Simulation*  отвара се прозор *Create New Simulation* приказан на слици 53. који се уносе подаци о имену симулације, моделу анализе, толеранцијама и типу симулације.

Тањираста опруга фрикционе спојнице



Слика 53. Прозор за покретање нове симулације

Отварањем иконе  *Force* додељујемо моделу силу, која делује на ивици опружних пера. Ове силе симулирају дејство потисног лежаја на тањирасту опругу.



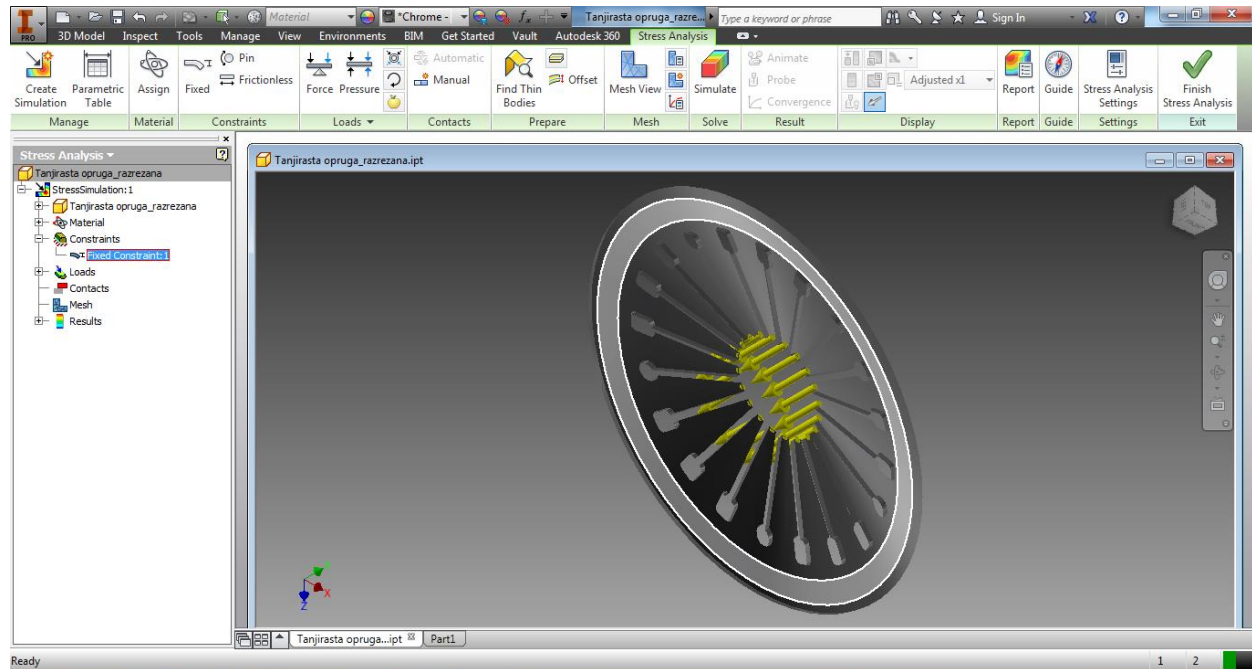
Слика 54. Постављање сила

Тањираста опруга фрикционе спојнице

У прозору *Forcese* може одредити смер силе по осама и њен интензитет. Када се селекује свако перо добија се приказ као на слици 54. Следећи корак је постављање укљештења-ограничења, да би се модел учврстио и омогућила његова симулација.



Отварањем иконе *Fixed*  отвориће се прозор *Fixed Constraint*, изабраће се површина за фиксирање, такође у овом прозору је омогућено векторско обележавање по свим осама.

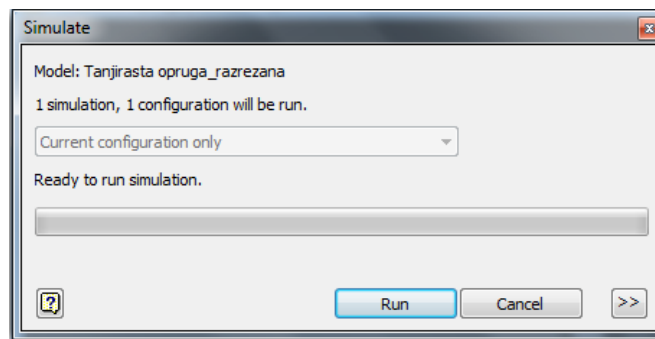


Слика 55.Постављање укљештења

Када су одрађена сва подешавања може се почети са симулацијом, покретањем

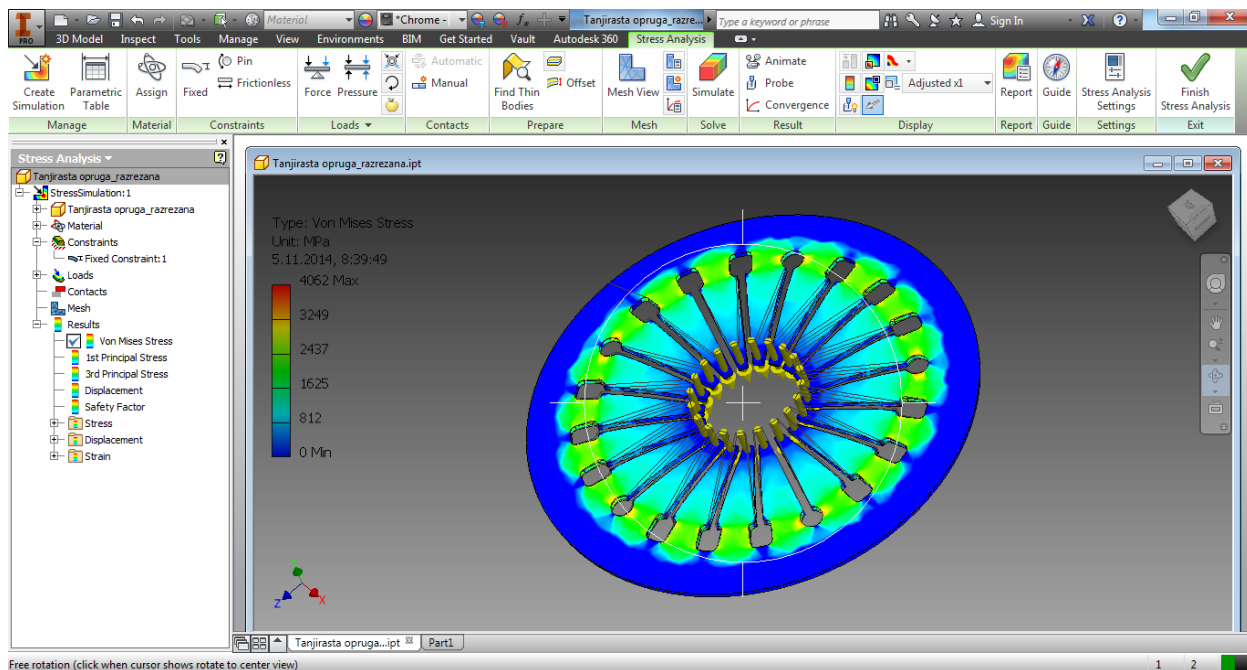


иконе *Simulate*  отвара се прозор за симулацију, покретањем тастера *Run* започеће се симулација.



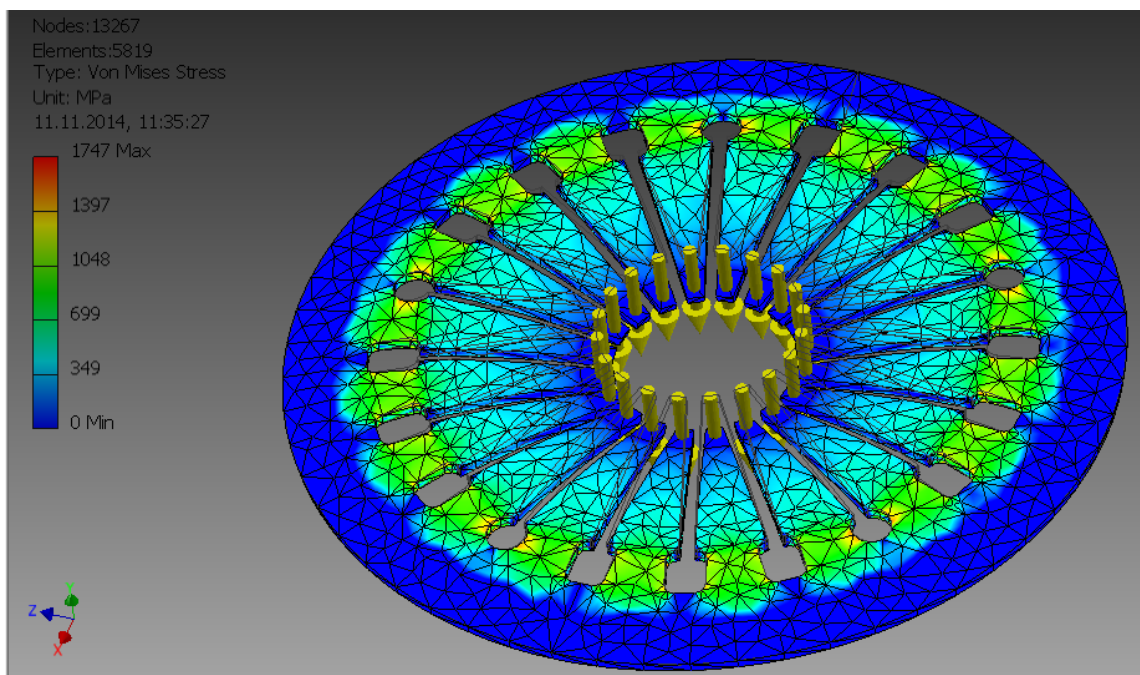
Слика 56.Прозор за покретање симулације

Тањираста опруга фрикционе спојнице

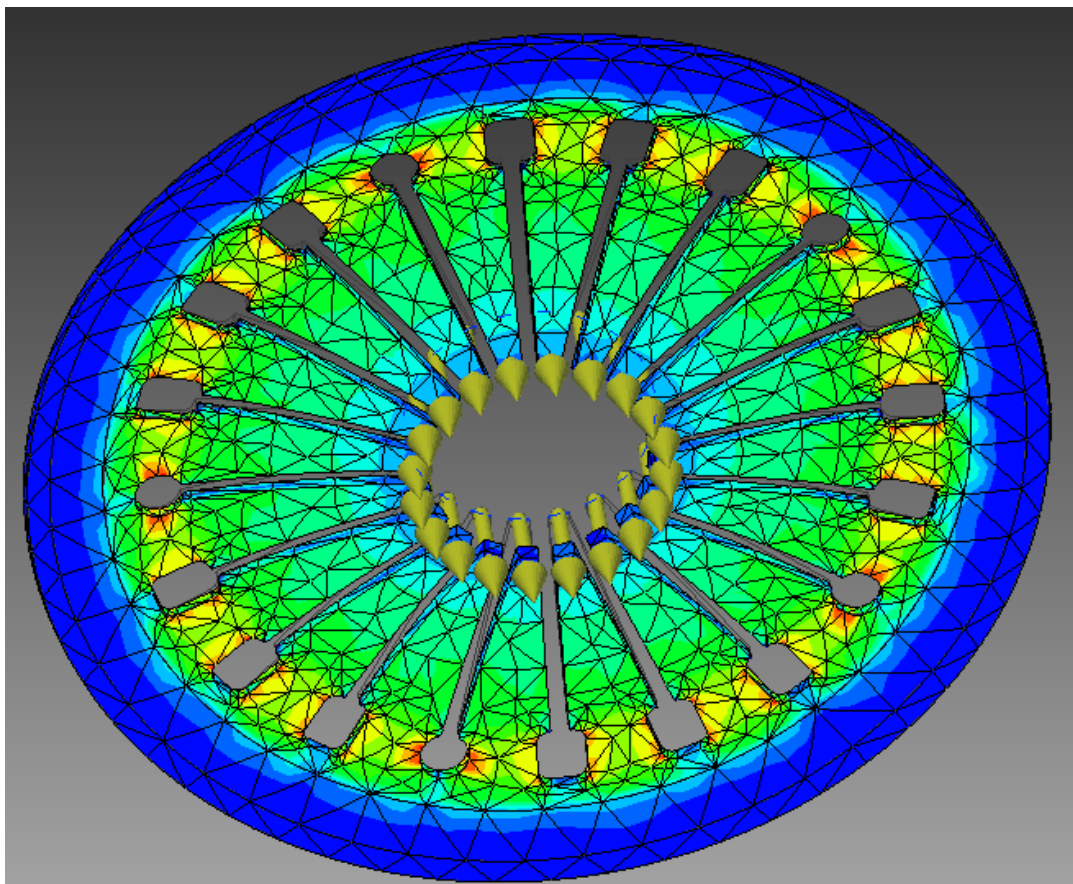


Слика 57. Концентрација напона

Да би приказ деловао веродостојно може се укључити мрежни приказ кликом на икону  **MeshView**, што је и приказано на слици 58.



Слика 58. Мрежни приказ напона



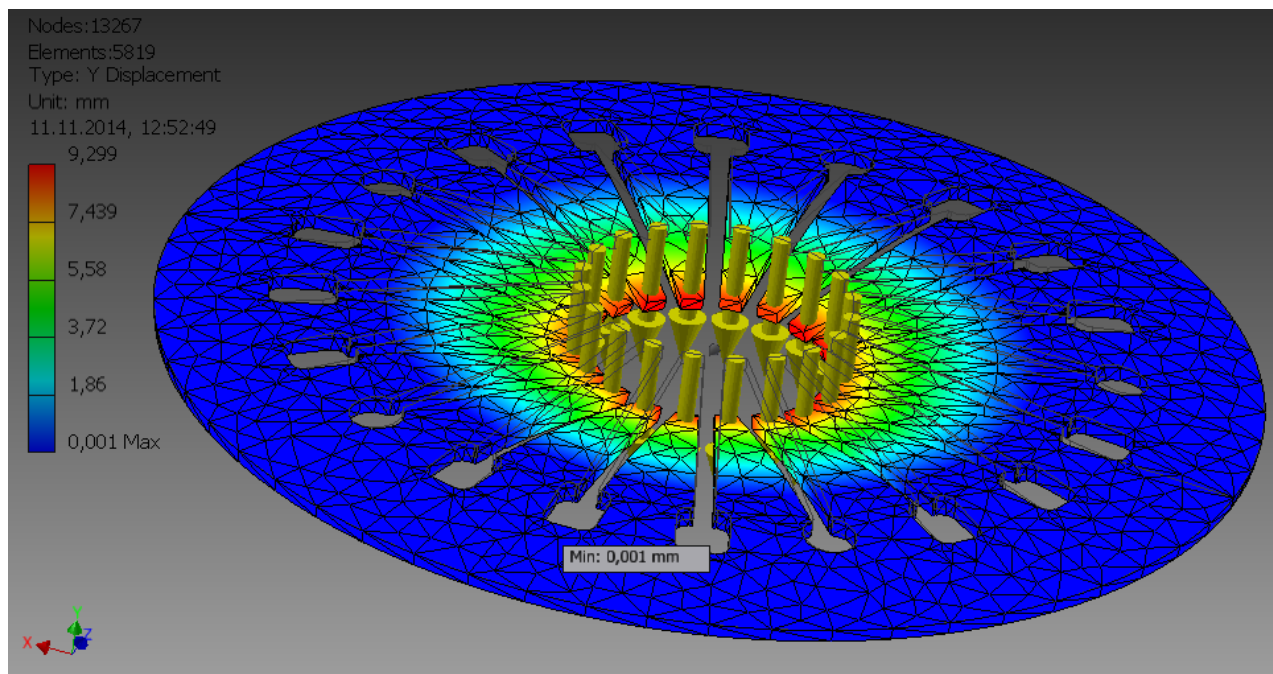
Слика 59. Мрежни приказ напона поглед одоздо

Тањирасту опругу смо оптеретили силом од 5300 N, ову величину смо узели из Табеле 3. овог рада и она одговара дебљини опруге од 2 mm. Ако знамо да је затезна чврстоћа легираног челика $1370\text{--}1570\text{ N/mm}^2$, видимо да моделирана тањираста опруга не прелази дозвољене границе. Такође граница пластичности за овај челик је 1080 N/mm^2 [33].

Са слика 58 и 59 се може видети да су највеће концентрације напона баш код отвора на почетку опружног пера. Такође се види да је код отвора где су постављени вијци већа концентрација напона него код отвора који се повезују канцама са потисном плочом.

Услед деловања силе коју ствара потисни лежај, тањираста опруга прави померање опружних пераја, то се може видети на Сlici 60. Са дате слике се види да је максимално померање 9.299 mm и јавља се на врху опружног пера, а минимално 0,001 mm и јавља се на ивици опружног прстена.

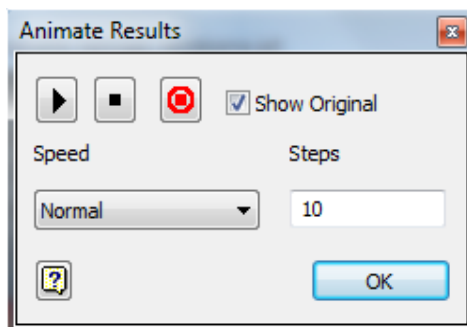
Тањираста опруга фрикционе спојнице



Слика 60. Помераји тањирасте опруге

Из ових података можемо закључити да дати модел тањирасте опруг може да издржи задата му оптерећења, да испуњава своје експлатационе здатке и да напони који се јављају под оптерећењем се налазе у дозвољеним границама. Тиме смо установили да ова тањираста опруга се може користит у експлатацији фрикционе спојнице

Да би смо видели видео приказ покреће се икона *Animate*  *Animate*, после које се отвара прозор *Animate Results* и у њему се сачува видео запис.



Слика 61. Снимање видео записа

Закључак

Фрикциона спојница је укључно-искључна спојница, и представља неизоставни део трансмисије свих моторних возила. Њоме се раздваја погонски мотор од осталог дела трансмисије (гоњеног) и омогућава рад мотора без преноса снаге на погонске склопове. Анализом и поређењем приказаних варијанти конструкција, потврђени су разлози за све масовнију примену фрикционих спојница са тањирастом опругом, не само код путничких аутомобила, већ и код све већег броја типова теретних возила.

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). 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. Ни положај тањирасте опруге при монтажи, ни промена тачке деловања (на карактеристичној кривој опруге) изазване хабањем фрикционих облога, немају битни утицај на формирање момената проклизавања. Значајан утицај, међутим, има карактеристична крива опруге фрикционог диска, и у том смислу су се боље показале опруге чије криве имају изражено прогресиван карактер.

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.

Како је тањираста опруга еластични елемент, због тога је анализа напона и угиба опруга од велике важности. У програмском пакету *AutodeskInventorProfessional* израђен је модел разрезане тањирасте опруге, додењен му је материја и извршена је структурна анализа опруге. На добијеном видео запису се може видети рад тањирасте опруге, и на основу добијених податка могу се извршити потребне модификације за побољшање разрезане тањирасте опруге.

Литература

- [1] Јанићијевић Н., Јанковић Д., Тодоровић Ј.: Конструкција моторних возила, Машински факултет Београд, 1987
- [2] Крајић Н.: Завршни рад - Фрикционе аутомобилске спојнице са тањирастом опругом, Машински факултет Крагујевац 2011
- [3] Стефановић А.: Друмска возила-основи конструкције, Центар за моторе и моторна возила Машинског факултета у Нишу и Центар за безбедност саобраћаја Машинског факултета у Крагујевцу, 2010
- [4] <http://tehnika.page.tl/Ma%26%23353%3Binski-elementi.htm> приступљено 03.09.2014.
- [5] <http://www.flat4.de/kupplung.htm> приступљено 08.09.2014
- [6] <http://www.dieselduck.info/machine/02%20propulsion/shafting/index.htm> приступљено 08.09.2014
- [7] <http://www.directindustry.com/prod/chain-tail-co-ltd/friction-clutches-electromagnetic-68134-517827.html> приступљено 08.09.2014
- [8] <http://www.dipostel.fr/en/clutch/pneumatic-friction-disc-clutch> приступљено 08.09.2014
- [9] <http://radiac.com/products/by/application/flywheel-grinding/> приступљено 08.09.2014
- [10] Blažević, A., Filipović, I., Bibić, Dž., Baxhaku, B.: Prilog pojednostavljenju izbora karakteristika zamajca kod motora sa unutrašnjim sagorijevanjem, 6th International Scientific Conference on Production Engineering DEVELOPMENT AND MODERNIZATION OF PRODUCTION, Bihać, Bosna i Hercegovina, 2007
- [11] http://nikolavujic.weebly.com/uploads/3/4/8/0/3480733/frikcione_spojnice.pdf приступљено 11.09.2014
- [12] <http://www.silverfoxtractorspares.com/ferguson-tef-4-cylinder-diesel-clutch-pressure-plate-single-clutch-17847-p.asp> приступљено 12.10.2014
- [13] <http://www.deinabearing.com/Cylindrical-Roller-Thrust-Bearing.html> приступљено 14.09.2014
- [14] Витас Д., Трбојевић М.: Машински елементи II, Научна књига Београд, 1988
- [15] <http://www.discspring.net/heavy-duty-bolting-washers-din6796.html> приступљено 14.09.2014
- [16] <http://www.zf.com> приступљено 14.09.2014
- [17] <http://www.stonspring.com/en/products.asp?id=1&cid=25> приступљено 14.09.2014
- [18] http://www.novak-adapt.com/knowledge/clutches_etc.htm приступљено 18.09.2014
- [19] Огњановић, М.: Машински елементи, Машински факултет у Београду, 2003.
- [20] http://www.assocspring.co.uk/p/19/conical_springs/ приступљено 18.09.2014
- [21] <http://www.clutch-china.cn/diaphragm.html> приступљено 19.09.2014
- [22] Голубић С: Елементи прецизне механике, Висока техничка школа у Бјеловару, школска 2012/2013
- [23] Глишовић, Ј.: Конструкција возила-Методичка збирка задатака са изводима из теорије, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2014
- [24] Милтеновић В., Огњановић М.: Машински елементи 3, Машински факултет Ниш, Београд, 1995.
- [25] Витас, Д. Трбојевић, М., Машински елементи I, Научна књига, Београд, 1990

- [26] Николић, В., Ђорђевић, З., Благојевић, М., Машински елементи-збирка задатака, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2008
- [27] Николић В.: Машински елементи – теорија, прорачун, примери, Машински факултет у Крагујевцу, 2004.
- [28] Risitano, A., MechanicalDesign, CRC Press, Taylor&FrancisGroup, 2011, ISBN 978-1-4398-1170-2
- [29] <http://www.schaeffler.de/content.schaeffler.de/de/company/history>приступљено 28.10.2014
- [30] <http://www.vtr.org/maintain/clutch-laycock.shtml>приступљено 28.10.2014
- [31] <http://www.dwclutch.com> приступљено 10.11.2014
- [32] <http://schools.paulding.k12.ga.us/.../Chapter%2069%20...> приступљено 10.11.2014
- [33] Јадран Шундрица, Наташа Јурјевић, Мато Прчан, Знаност и технологија материјала с освртом на примјену, 2004
- [34] Девеџић Г. Ћуковић С. Петковић С. Максић Ј.: 3Д Моделирање производа – Методична збирка задатака, Крагујевац, 2009.