

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Алати и прибори

Број индекса: 8/2015

Милош М. Делић

Утицај свесне деформације контакта стезача стезног прибора и предмета обrade на производне ефекте

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др Бранко Тадић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да размотри проблематику формирања стезног прибора и да представи све значајне компоненте истог. Потребно је да детаљно обради основна правила, начине и елементе од којих зависи настанак стезног прибора, анализира утицај свесног утискивања чела стезног елемента у предмет обраде.

Препоручена литература:

[1] Тадић, Б., Вукелић, Ђ., Јурковић, З.: Алати и Прибори, Универзитет у Крагујевцу, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2013.

[2] Миљанић, Д.: Пројектовање елемената прибора са аспекта носивости и попустљивости њихових контактних површина, Нови Сад, 2015.

Крагујевац, 16.10.2018.

Ментор:

Резиме: У оквиру рада извршено је прикупљање, систематизација и анализа знања везаних за стезне приборе. Описани су начини базирања и стезања радних предмета и објашњени принципи на којима се ови процеси заснивају. Као основни принципи који представљају суштину поступака које је неопходно применити наведена су и објашњена основна правила формирања стезног прибора. Посебна пажња је посвећена деловима где су објашњени прорачуни и препоруке за конструисање и димензионисање елемената и параметара важних за стезни прибор.

Кључне речи: базирање, стезање, стезни прибори

Abstract: Within the work it is done the collection, systematization and analysis of knowledge related to clamping devices were carried out. Methods of basing and clamping of work items are described and the principles on which these processes are based are explained. As the basic principles that represent the essence of the procedures that need to be applied, the basic rules for forming the clamping accessories are explained and explained. Particular attention has been paid to the sections where the calculations and recommendations for the design and dimensioning of elements and parameters important for clamping accessories are explained.

Key words: basing, clamping, clamping accessories

Садржај

Резиме:	1
1.0. Увод	4
1.1. Улога и место стезних прибора	4
1.2. Класификација стезних прибора	5
1.3. Елементи стезног прибора	6
1.4. Основна правила при пројектовању прибора	6
2.0. Базирање елемената	8
2.1. Базирање елемената призматичног облика	8
2.2. Базирање цилиндричних елемената	10
2.3. Базирање елемената облика диска	12
2.4. Базирање елемената по отворима за центрирање	13
2.5. Грешке базирања предмета обраде	16
2.5.1. Грешке базирања предмета обраде	16
2.5.2. Грешке базирања цилиндричних делова	17
2.5.3. Грешке базирања на чеповима за центрирање	19
3.0. Стезање предмета обраде	23
3.1. Прорачун сила стезања	23
3.2. Фактор сигурности	26
3.3. Елементи и механизми за стезање	27
3.4. Механички елементи за стезање	27
3.4.1. Стезање завртњем	27
3.4.2. Стезање клином	30
3.4.3. Стезање ексцентром	33
3.4.4. Стезање полугом	36
3.5. Механизација стезних прибора	38
3.6. Пнеумауматски уређаји	39
3.6.1. Клипни пнеуматски уређаји	39
3.7. Двојни клипни уређаји	41
3.8. Цилиндри двоструког дејства	42
3.9. Пнеуматске коморе са дијафрагмом	42
3.10. Хидраулични уређаји	43
3.11. Пнеумохидрауличко стезање	44

3.12. Вакумско стезање	46
3.13. Електромагнетно стезање	46
4.0. Носивост и попустљивост контакта елемената прибора и радног предмета	47
4.1. Утицај геометрије контакта на носивост и попустљивост између елемената прибора и радног предмета	48
4.2. Моделовање контакта елемената прибора и радног предмета са аспекта носивости и попустљивости	50
4.2.1. Моделовање контакта између елемената за стезање са челом у облику кружног клина и предмета обраде	52
4.2.2. Моделовање контакта између елемента за стезање са сферичним челом и предмета обраде	54
4.2.3. Моделовање контакта између елемента за стезање са челом у облику купе и радног предмета	56
4.2.4. Нумеричка анализа контакта између специјалних елемената за стезање и предмета обраде	58
5. Експериментално истраживање носивости и попустљивости контакта између елемената прибора и предмета обраде	61
5.1. Мерна инструментација коришћена у условима статичких оптерећења	62
5.2. Резултати истраживања у условима статичких оптерећења	63
5.3. Мерна инструментација коришћена у условима динамичких оптерећења	67
5.4. Резултати истраживања у условима динамичких оптерећења	69
6.0. Дискусија	71
Закључак	73
Литература	74

1.0. Увод

Савремени процеси машинске обраде се одвијају комплексним дејством средстава за рад на полуфабрикат који се обрађује. Готов производ се добија применом одређених операција чији је редослед претходно дефинисан на основу техничког цртежа. У свакој од операција поред алата, предмета обраде, машине и мерних инструмената неопходна је и примена стезних прибора. Присуство стезног прибора је неопходно у свим процесима обраде. Примена адекватних стезних прибора има вишеструке предности. Такви прибори олакшавају процесе који предстоје обради, и тиме знатно смањују време припреме. Поред смањења припремног времена добром конструкцијом стезног прибора се може знатно смањити време обраде тако што се могу применити оштрији режими.

1.1. Улога и место стезних прибора

Стезни прибор је као обавезан чинилац обрадног процеса присутан у свакој операцији машинске обраде. Примену стезних прибора карактерише [1]:

- исправно базирање предмета обраде на машини у односу на захтеване конструктивне базе, чиме се избегава потреба за појединачним обележавањем предмета. Такађе се знатно смањује припремно време.
- смањење грешака тачности димензија које настају због лошег постављања припремка у стезни прибор, без обзира на радникове квалификације и вештине,
- максимална искоришћеност перформанси машина које учествују у производном процесу,
- повећана продуктивност алатних машина која је последица мањих главних и припремних времена,
- олакшање рада радника, као и лакше одређивање реалних норматива рада,
- успешније кординисање радних времена у функционалној, а посебно у линијски организованој производњи.

Из ових карактеристика стезних прибора проистичу бројне предности које се највише осликавају на економски карактер производње и то кроз [1]:

- скраћење времена стезања предмета обраде,
- скраћење времена обраде коришћењем већих брзина резања,
- скраћење времена и повећање поузданости базирања предмета обраде,
- могућност коришћења оператера машине нижих квалификација, уз задржавање захтеваног квалитета,
- смањење физичког рада радника,
- смањење процента производа који не задовољава квалитет,
- уштеде у служби контроле и смањење броја неопходних мерних прибора.

1.2. Класификација стезних прибора

Стезни прибори се могу разврстати на више начина, и то према [1]:

- виду радног поступка,
- континуалности рада,
- степену механизације поступка,
- степену универзалности,
- броју предмета обраде који се истовремено стежу и обрађују,
- конструктивно-експлоатационим карактеристикама прибора.

Такође, могућа је и према намени и то на [1]:

- приборе опште намене (универзални прибори),
- приборе индивидуалне намене (специјални прибори),
- групне приборе,
- модуларни флексибилни прибори.

Прибори опште намене се користе у појединачној и малосеријској производњи. Ови прибори се израђују према стандардима и пројектовани су за коришћење у различитим операцијама. При пројектовању ових прибора се треба постићи компромис између функционалности прибора и могућности његове примене на различите предмете обраде.

Прибори индивидуалне намене су прибори који су пројектовани за базирање и стезање само једног одређеног предмета обраде. Користе се серијској и масовној производњи.

Групни стезни прибори се користе за базирање и стезање групе технолошки сличних предмета обраде. Ови прибори се користе у условима серијске и масовне производње. Током пројектовања групних стезних прибора потребно је конструисање јединствене конструкције којој није потребна замена већег броја измењивих елемената прибора приликом преласка на други тип предмета обраде.

Модуларни прибори су прибори који настају склапањем стандардних елемената. Елементи су састављени у комплете у којима се налази велики број стандардних делова. Величина комплета и његов асортиман зависи од комплексности стезног прибора. Елементи су стандардизовани и међусобно размењиви. Везе које настају су раздвојиве, па је могуће све елементе користити по више пута. Израђују се од квалитетног конструкционог и алатног челика, термички се обрађују, а радне належуће површине се брусе и глачају. Тачност израде је веома висока: тачност дужинских мера је обично $\pm 0,01 \text{ mm}$, а управности паралелност $0,01 \text{ mm}$ на дужини од 100 mm .

Модуларни прибори имају широку примену у индустрији, примењују се [1] :

- у појединачној и малосеријској производњи није исплатива израда нових прибора, па се они конструишу конструишу из стандардних елемената,
- због скраћења времена пројектовања, а посебно због скраћења времена израде стезног прибора,
- при увођењу новог производа у производњу, када су још увек могуће неке измене на производу,
- за растерећење уских грла у току производног процеса,

1.3. Елементи стезног прибора

Стезни прибори се састоје из више група елемената који су међусобно повезани у целину. Свака од ових група елемената обавља специфичну функцију у стезном прибору. На основу овога се елементи прибора могу поделити на [2]:

- елементе за позиционирање,
- елементе за стезање,
- елементе тела прибора,
- елементе за везу,
- сигурносне елементи.

Елементи за позиционирање једнозначно одређују положај радног предмета у прибору. Предмет обраде се доводи у одређени положај у прибору у коме му је ограничен број степени слободе тако да се обрада може правилно извршити.

Након правилног позиционирања предмета обраде неопходно је пре почетка процеса обраде осигурати такав положај радног комада при обради. Приликом обраде може доћи до померања предмета обраде. Осигуравање положаја предмета обраде се остварује помоћу елемената за стезање.

Елементи тела прибора сједињавају све остале елементе стезног прибора. Такође, они на себе примају сва оптерећења која дејствују на предмет обраде.

Међусобно спајање свих група елемената се остварује помоћу елемената за везу.

Сигурносни елементи постављају предмет обраде у правилан положај у прибору.

1.4. Основна правила при пројектовању прибора

Током пројектовања стезног прибора у обзир треба узети више утицајних фактора и треба се придржавати следећих основних правила за пројектовање прибора [2]:

- неопходна је сарадња пројектанта прибора са технологијом којој се поставља захтев за израду прибора.

-приликом пројектовања прибора потребно је користити што више стандардних елемената због цене израде, као и због могуће брзе промене дела који је оштећен.

-прибори треба да поседују задовољавајућу крутост која се оптимизацијом конструкције може постићи при малој маси прибора, што доприноси лакшој манипулацији прибора.

-при конструкцији прибора треба настојати да силе резања и стезања оптерећују чврсте делове прибора, нарочито тамо где се појављују већа напрезања.

-механизми за стезање треба да буду што је могуће једноставнији, а време постављања и скидања предмета обраде треба да буде што мање.

-елементни прибора не смеју да ометају видљивост и приступачност месту обраде на радном предмету.

-течност за хлађење, подмазивање и испирање треба слободно да отичу са места обраде.

-елементи за стезање као што су ручице и слично треба поставити да буду везани за прибор. Ако се за стезање користе елементи који су одвојени од прибора њиховом неправилном употребом може доћи до повреде радника и оштећења прибора.

-прибор својом конструкцијом мора бити такав да не омогућује погрешно постављање предмета обраде, да обезбеди њихово лако постављање и скидање без замарања радника. Радник не сме да дође у ситуацију да размишља како ће поставити предмет обраде у прибор.

-прибор мора лако да се поставља на машину, а треба омогућити лако чишћење струготине са њега и из њега.

-прибори морају бити сигурни у раду због сигурности радника који је опслужује.

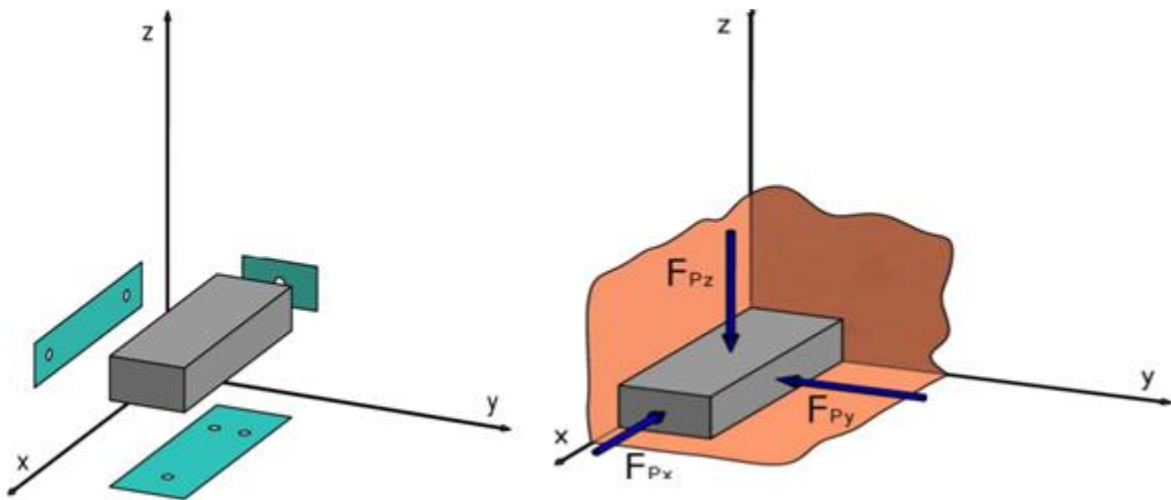
-за израду елемената прибора је неопходно изабрати адекватан материјал, елементи су изложени сложеним напрезањима те се за њихову конструкцију користе квалитетни термички обрађени челици.

2.0. Базирање елемената

Базирање представља процес у коме се предмет обраде поставља у положај који се захтева при процесу обраде. Овај положај је једнозначно одређен техничким цртежом. Елементи за базирање треба да приме сва оптерећења која се преносе са предмета обраде уз степен деформације који не утиче неповољно на прибор. Предмети обраде се базирају, ослањају и граниче у околинама једне, две или три тачке, односно по површинама које настају око одређене тачке, линије или равни.

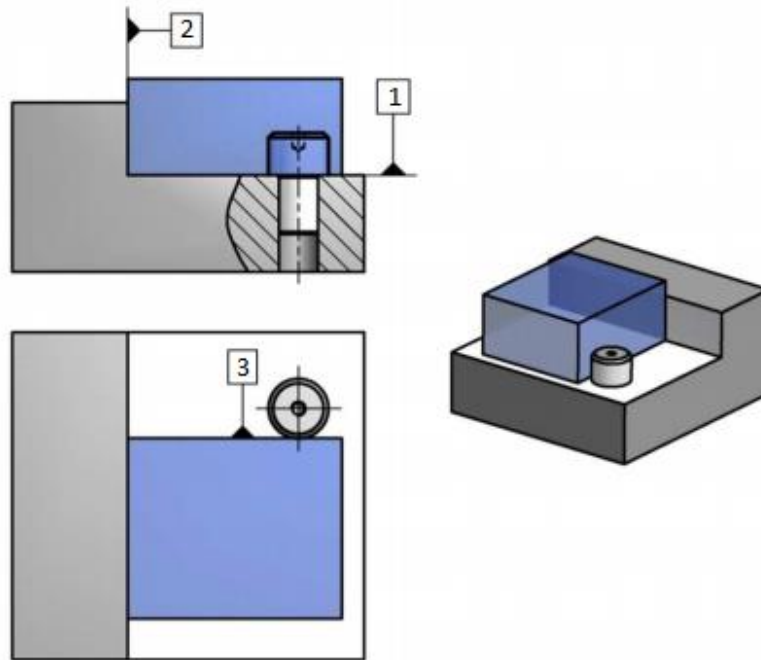
2.1. Базирање елемената призматичног облика

Призматични делови се најчешће обрађују операцијама глодања и бушења. Потребно је за овакав предмет обраде установити величине страна призме. Пошто се призматични делови буше и глођу потребно је предмету обраде одузети свих 6 степени слободe. Површине се ослањају по једној тачки, по две тачке (по линији) и по три тачке (по равни).



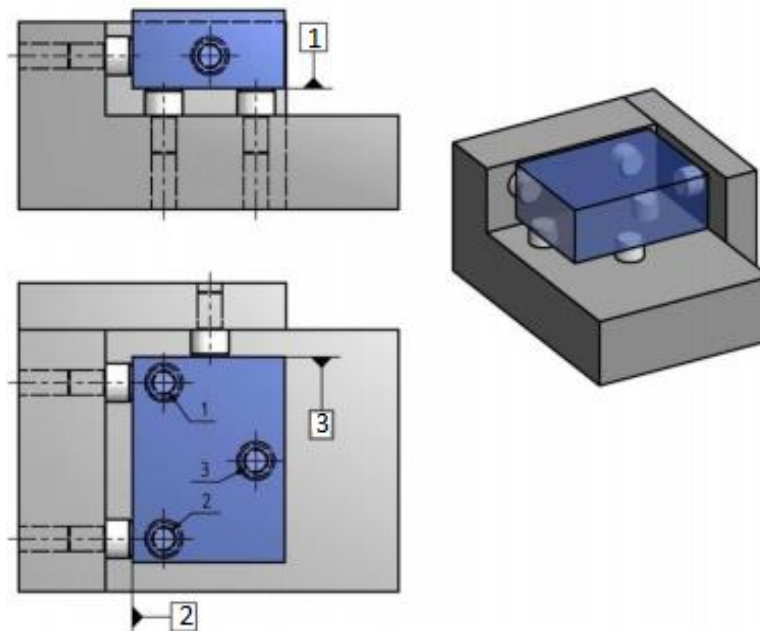
Слика 1. Шеме базирања и стезања призматичних делова [1]

Површину са највећим габаритима треба ослонити на три тачке (на равни), и та површина се зове ослона база. Постоји разлика између претходно обрађених и необрађених површина, обрађене површине се могу ослонити целом површином, док се необрађене ослањају у околини три тачке. У случају обрађених належућих површина претпоставља се да су одступања од равности належуће површине мала и да ће дејством силе на предмет обраде при стезању доћи до еластичних и пластичних деформација врхова неравнина и тако довести до континуалног налегања читаве ослона површине. Површина са мањом површином представља усмеравајућу базу, а најмања површина је гранична база.



Слика 2. Елемент за базирање призматичних делова [1]

На слици 2 је приказан призматични предмет обраде који је базиран у стезном прибору. Површина 1 има највећу површину, па због тога површина 1 представља ослону базу. Површина 2 је усмеравајућа база, док део површине контакта површине 3 и чепа чини граничну базу. Предмет је претходно обрађен, па се ослањање врши по целој површини. Овом предмету обраде је одузето свих шест степени слободе.

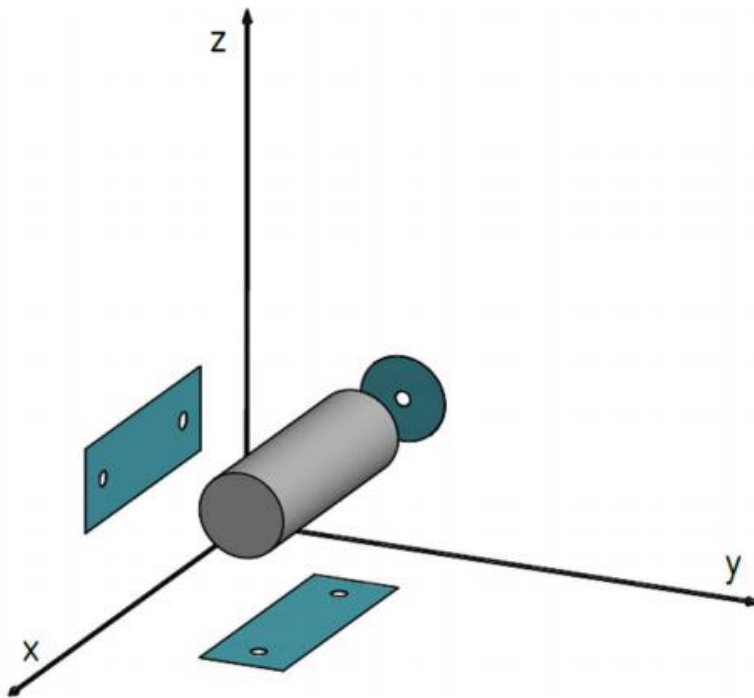


Слика 3. Елемент за базирање призматичних делова са ослоним чеповима [1]

Ако предмет обраде није претходно обрађен, базирање се обавља преко ослоних чепова због великих неравнина које могу довести до нетачних димензија предмета при обради. За одузимање свих 6 степени слободе је потребно базирати предмет на 6 чепова. Површина 1 је ослона база и ослања се на три чепа, површина 2 је усмеравајућа база и ослања се на 2 ослонна чепа, а површина 3 је гранична база и базира се преко једног чепа. Чепови представљају раван (три чепа), линију (два чепа) и тачку (један чеп). Чепови могу бити израђени у више различитих варијанти, најчешће се користе нарецкани чепови због већег коефицијента трења између чепа и предмета обраде.

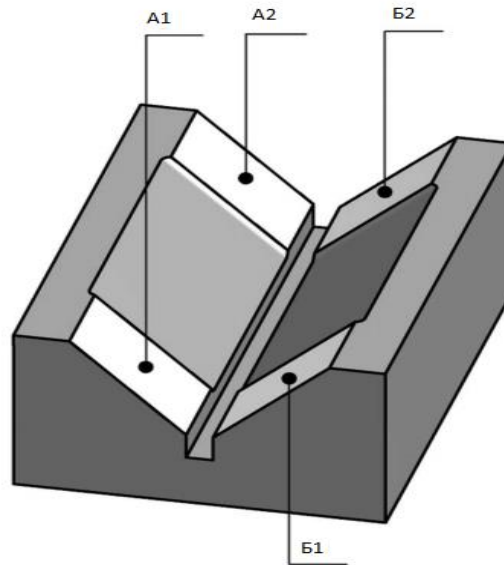
2.2. Базирање цилиндричних елемената

Базирање цилиндричних елемената се врши у призми. Као што је речено у делу базирања призматичних елемената, потребно је и код цилиндричних елемената одузети 6 степени слободе.



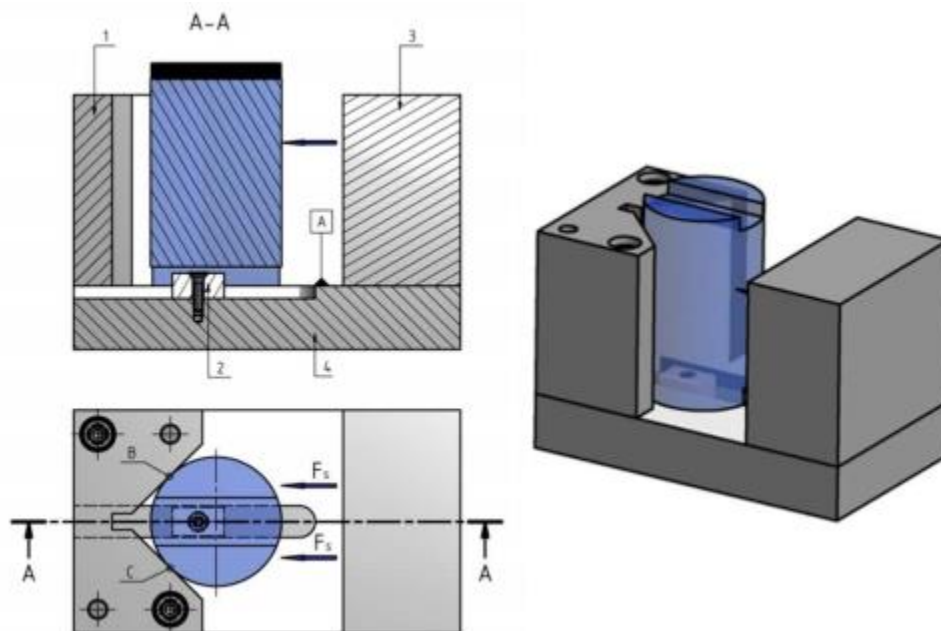
Слика 4. Шема базирања цилиндричних делова [1]

Исто као и код призматичних елемената базирање се остварује у реону 6 тачака. У контакту призме и предмета обраде формирају се четири ослоне тачке, са обе стране по две. То су у ствари две мале, издужене површине које се могу сматрати линијама. Пошто се не може гарантовати сталан пречник предмета обраде, користи се призма која има удубљење на средишњем делу што спречава настанак грешке. Овај тип призме такође показује како настају 4 тачке за базирање у призми. Тачке A_1 , A_2 , B_1 и B_2 су тачке око којих се предмет обраде ослања у призми (слика 5).



Слика 5. Призма за базирање цилиндричних делова [1]

Граничење предмета обраде се врши у околини једне тачке (тачке на основи цилиндра), њоме се одузима пети степен слободе радног предмета. Шести степен слободе није неопходно увек одузети предмету обраде. Ротација око x осе се не мора одузети у случајевима када је део симетричан, па није битно са које ће се стране обрађивати. Ако на предмету обраде од ранијих операција постоји нека обрађена површина (база), на основу чијег положаја треба одрадiti нову операцију, тада је предмету обраде потребно одузети свих 6 степени слободе.

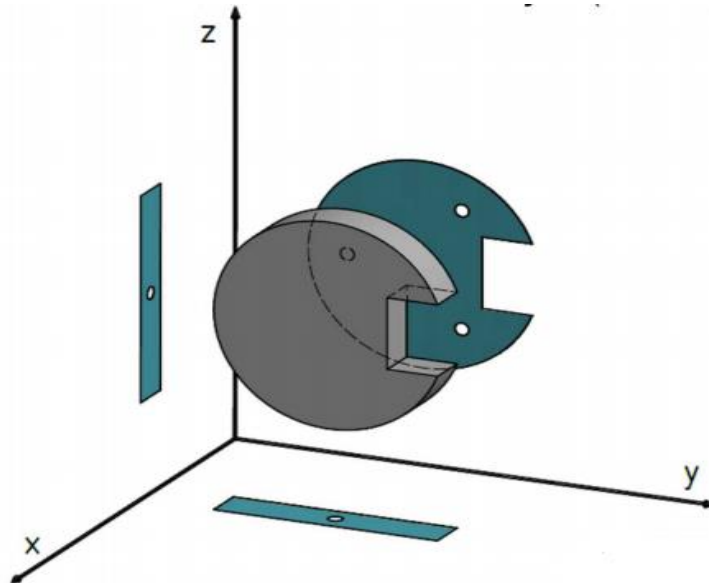


Слика 6. Базирање предмета обраде у призми [1]

Шести степен слободе се као што је на примеру приказано одузима уз помоћ клина који задржава захтеване геометријске односе.

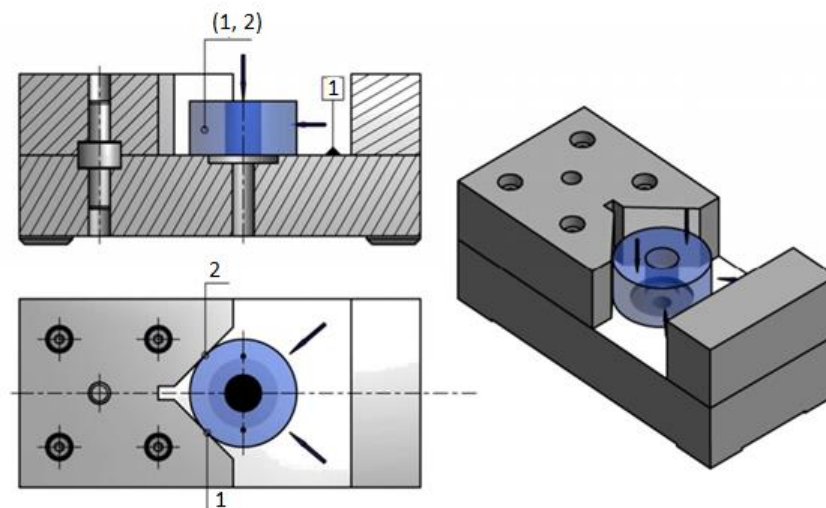
2.3. Базирање елемената облика диска

Карактеристика која издваја елементе облика диска од других је њихов пречник који је увек далеко већи од његове висине.



Слика 7. Шема базирања делова облика диска [1]

Базирање оваквих елемената има сличности са базирањем цилиндричних елемената. Једна од сличности се огледа у коришћењу призме.



Слика 8. Базирање елемената облика диска [1]

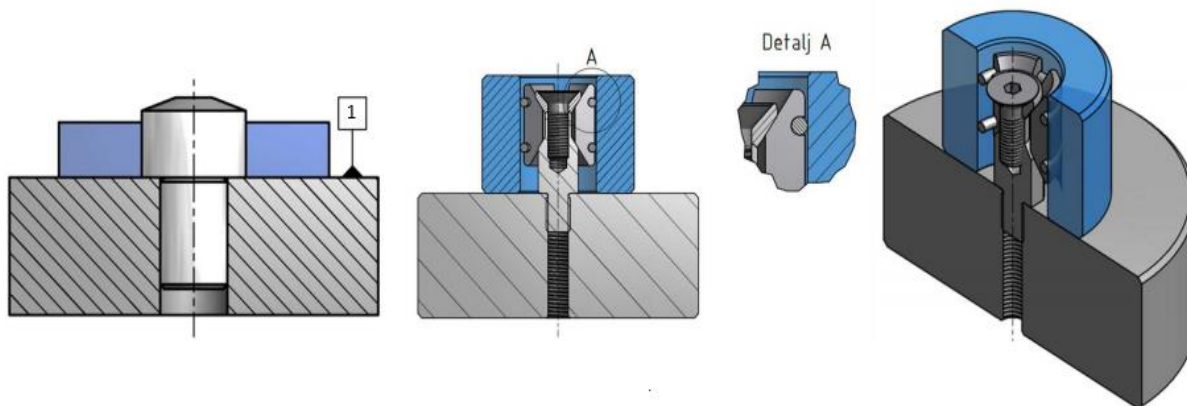
Елементи облика диска такође имају 6 степени слободe које им пре стезања треба одузети. Још једна сличност са елементима цилиндричног облика је да није увек неопходно одузети им шести степен слободe. Сличности ту не престају, код диска се шести степен слободe такође одузима клином како би се осигурала геометријска зависност. Ослона база је једна од основа диска, она се ослања целом површином или у околини три тачке, зависно од постојања претходне обраде. Центрирајућа база се остварује контактом са призмом у околине две тачке.

2.4. Базирање елемената по отворима за центрирање

Предмет обраде је поред наведених начина базирања могуће базирати и преко отвора за центрирање. Базирање се може извршити на више начина [1]:

- базирање по чеonoј површини и кратком отвору,
- базирање по чеonoј површини и дугом отвору,
- базирање по чеonoј површини и два кратка отвора,
- базирање предмета обраде по два отвора за центрирање,
- базирање на две исправне површине и кратком чепу.

За базирање елемената облика диска се користи метода базирања по чеonoј површини и кратком отвору.

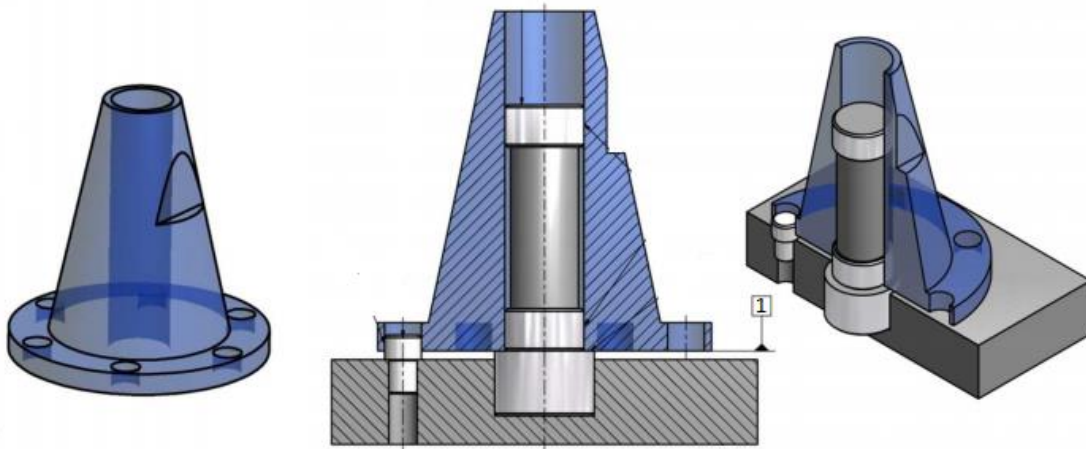


Слика 9. Базирање елемената по чеonoј површини и кратком чепу [1]

Површина 1 је основна базна површина, на њу се поставља чеони део предмета обраде. Предмет обраде се ослања у околини три тачке. Када је чеона површина мала, ослањање се врши по целој површини предмета обраде. Ако је површина већа, предмет се ослања по ослоним чеповима. Чеп за центрирање у оваквом поступку мења призму у којој се иначе базира диск. Чеп слично призми приликом базирања диска одузима предмету обраде одузима предмету обраде два степена слободe. Шести степен слободe је потребно одузети

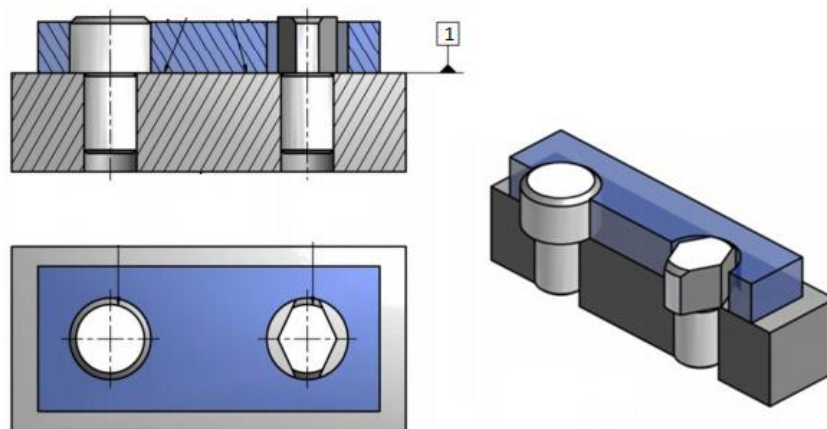
само у ситуацијама када на предмету обраде на основу предходне обраде постоји нека дефинисана база.

Код елемената са дугим отвором основну базу представља управо дуги отвор. Преко дугог чепа предмету обраде се одузимају четири степена слободе, ослањање чела предмета обраде се одвија у околини једне тачке. Шести степен слободе се одузима по потреби, на основу неке дефинисане базе.



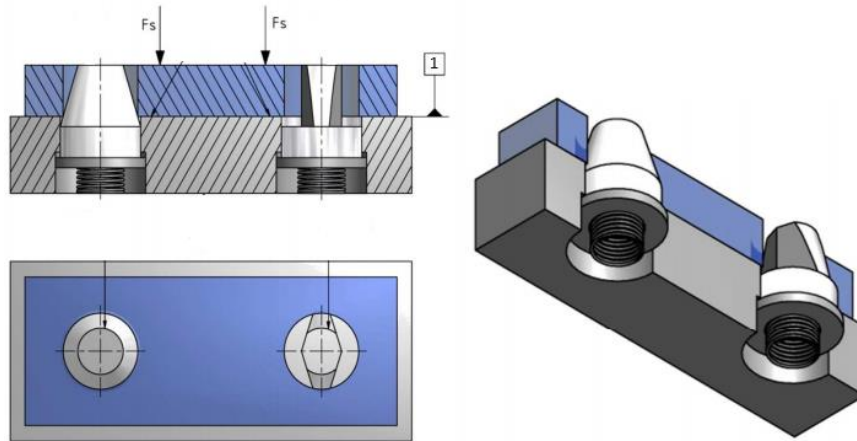
Слика 10. Базирање елемената по чеоној површини и дугом чепу [1]

У пракси се такође веома често користи метод базирања по чеоној површини и два кратка отвора. За базирање преко отвора се користе чепови за центрирање, они могу бити пуни или комбинација по један пун и срезан чеп за центрирање.



Слика 11. Базирање по чеоној површини и два кратка отвора са срезаним чепом [1]

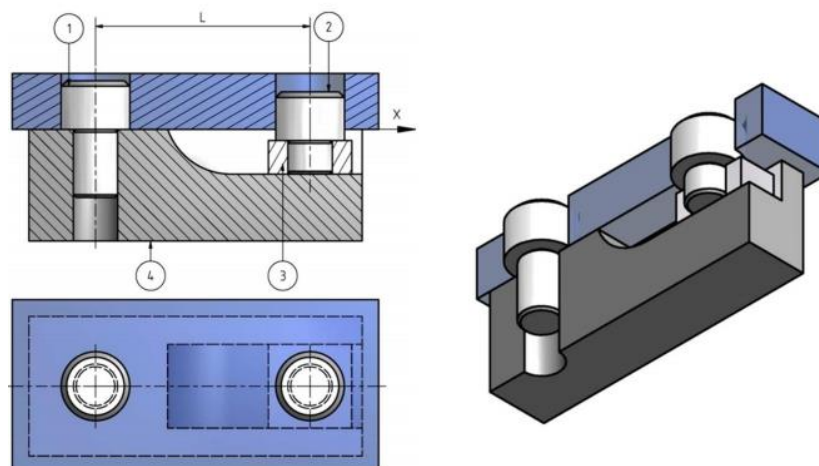
Ослањање предмета обраде се врши по површини 1 у околини три тачке, тиме се предмету обраде одузимају три степена слободе. Комбинација пуног у срезаног чепа одузимају преостала три степена слободе, пун чеп одузима два, а срезани чеп један преостали степен слободе. У случају да су толеранције отвора по којима се предмет обраде базира широке, користе се конусни чепови за базирање како би се компензовала одступања.



Слика 12. Базирање по чеоној површини и два кратка отвора са конусним чеповима [1]

Предмет обраде се базира преко два отвора за центрирање у случајевима када се предмет обраде обрађује стругањем и брушењем између шиљака.

Још један метод базирања је базирање предмета обраде преко аксијално померљивих чепова. Овај метод се користи у ситуацијама када је отвор израђен у широком толеранцијском опсегу, па се срезани чеп не може користити.



Слика 13. Базирање преко аксијално померљивог чепа [1]

Елемент за базирање се састоји из тела 4 са отвором за непокретан чеп 1, тело садржи канал у коме се налази клизач 3 на коме је монтиран чеп. Кретањем клизача се мења растојање L између центара чепова. Предност оваквог елемента за базирање је његова могућност промене растојања између чепова за базирање, па га је могуће користити за више сличних предмета обраде.

2.5. Грешке базирања предмета обраде

Обрадом полуфабриката настоји се да коначне димензије добијеног предмета буду у границама прописаним на техничком цртежу. Укупна грешка при обради Δ је скуп свих грешака које могу настати приликом обраде. Δ се састоји из [1]:

- Δ_{baz} - грешке базирања,

- Δ_{st} - грешке стезања,

- Δ_{obr} - грешке обраде,

- Δ_{prib} - грешке израде стезног прибора.

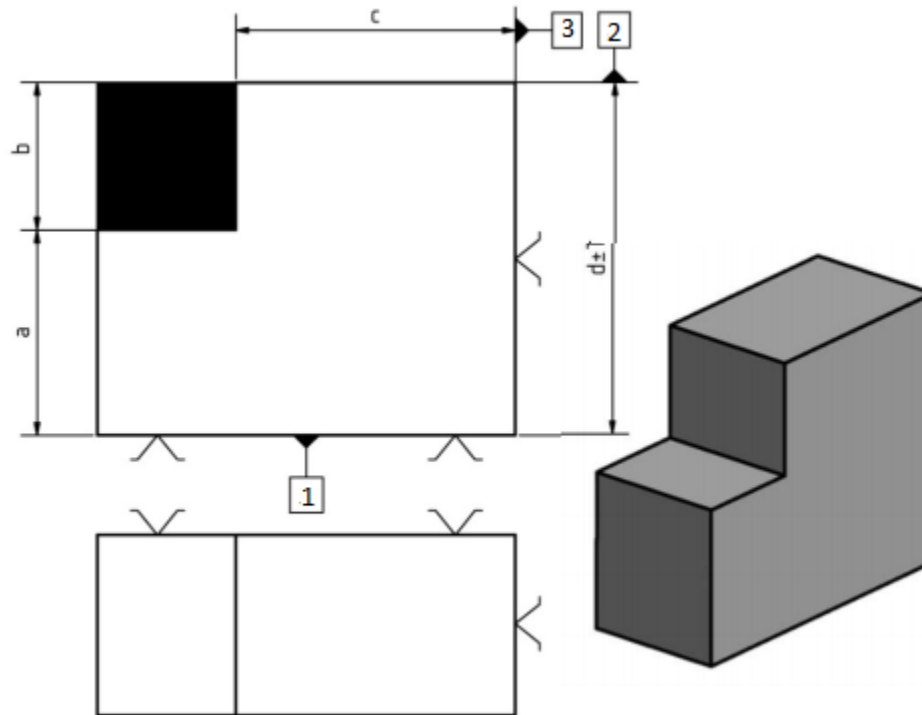
Претходно прописане толеранције дужина готовог предмета треба да буду веће од грешака насталих обрадом $T \geq \Delta$. У супротном би комад био изван толерисаних граница, што значи да би морао бити подвргнут додатној обради или би настао шкарт.

2.5.1. Грешке базирања предмета обраде

Грешке базирања су једна од основних грешака које настају при механишкој обради. Овај тип грешке се јавља када се предмет обраде ослања на технолошку базу, а та технолошка база није уједно и конструктивна база. Величина ове грешке зависи од избора технолошке базе.

Потребно је да тачка, линија или површина на предмету обраде која служи за базирање предмета уједно буде и конструктивна база. Ако се овај услов испуни и ако се положај предмета обраде не мења онда је грешка базирања једнака нули.

Пожељно је да грешка базирања буде једнака нули, што доста олакшава конструисање стезног прибора. Да би се то постигло неопходно је да се технолошка, мерна и конструктивна база поклапају, ако не дође до тога онда је грешка базирања већа од нуле.



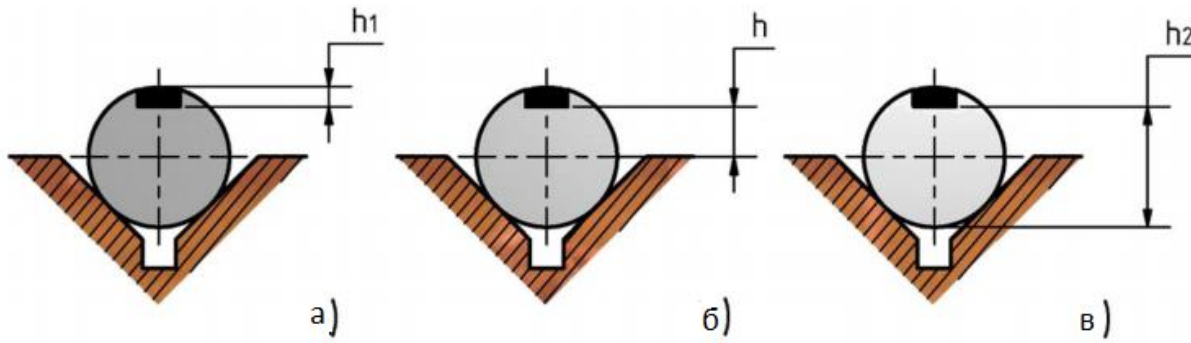
Слика 14. Елемент за базирање [1]

Ослањање предмета обраде се врши по површинама 1 и 3, технолошка и конструктивна база кота a и c се поклапају. Конструктивна база коте b је површина 2, а технолошка база је површина 1, дакле не долази до поклапања конструктивне и технолошке базе. Грешка базирања по коти b је једнака толеранцији коте d , $\Delta_{baz}=T$. Да би грешка базирања коте b била једнака нули, неопходно је предмет обраде ослонити по површини 2, па би дошло до поклапања конструктивне и технолошке базе што знатно компликује конструкцију стезног прибора. У овој ситуацији је боље базирати предмет обраде по површинама 1 и 3, а кота d се ради у ужој толеранцији.

2.5.2. Грешке базирања цилиндричних делова

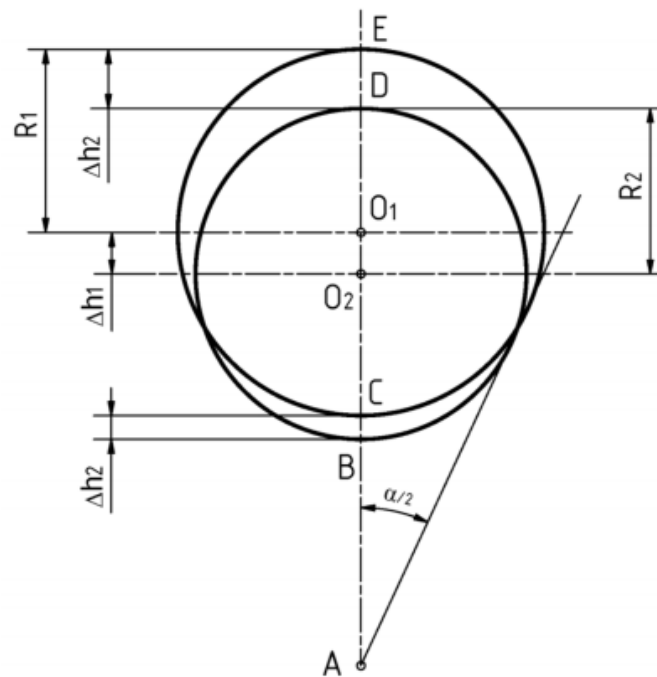
За базирање цилиндричних елемената се користи призма. Постоји више типова призми, које се јављају са различитим угловима. Услед постојања толеранције пречника цилиндричних предмета обраде величина њиховог пропадања у призми је у функцији толеранције пречника и карактеристика призме.

На оваквим предметима обраде се најчешће израђује жлеб или нека равна површина. Коте које дефинишу њихов положај се могу дати на три начина.



Слика 15. Пропадање цилиндричних елемената у призми [1]

Грешке које настају на овакав начин се одређују анализом два гранична пречника цилиндричног предмета обраде базираног у призми.



Слика 16. Гранични положаји цилиндара у призми [1]

Гранични пречници су D_1 и D_2 , односно радијуси R_1 и R_2 . Укупно одсупање пречика износи

$$\delta_D = D_1 - D_2$$

На основу слике 16 могу се извести релације [1]:

$$\Delta h_1 = \overline{AE} - \overline{AD} \quad \overline{AE} = \overline{AO_1} + \overline{O_1E} \quad \overline{AD} = \overline{AO_2} + \overline{O_2D}$$

У првом случају је:

$$\Delta h_1 = \frac{R_1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + R_1 - \left(\frac{R_2}{\sin \frac{\alpha}{2}} + R_2 \right) = (R_1 - R_2) \cdot \left(\frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) = \left(\frac{D_1 - D_2}{2} \right) \cdot \left(\frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right)$$

$$\Delta h_1 = \delta_D \cdot \left(\frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \right)$$

Други начин дефинисања коте жљеба [1]:

$$\Delta h = \overline{AO_1} - \overline{AO_2} = \frac{R_1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{R_2}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{R_1 - R_2}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{D_1 - D_2}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

$$\Delta h = \frac{\delta_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

Трећи начин [1]:

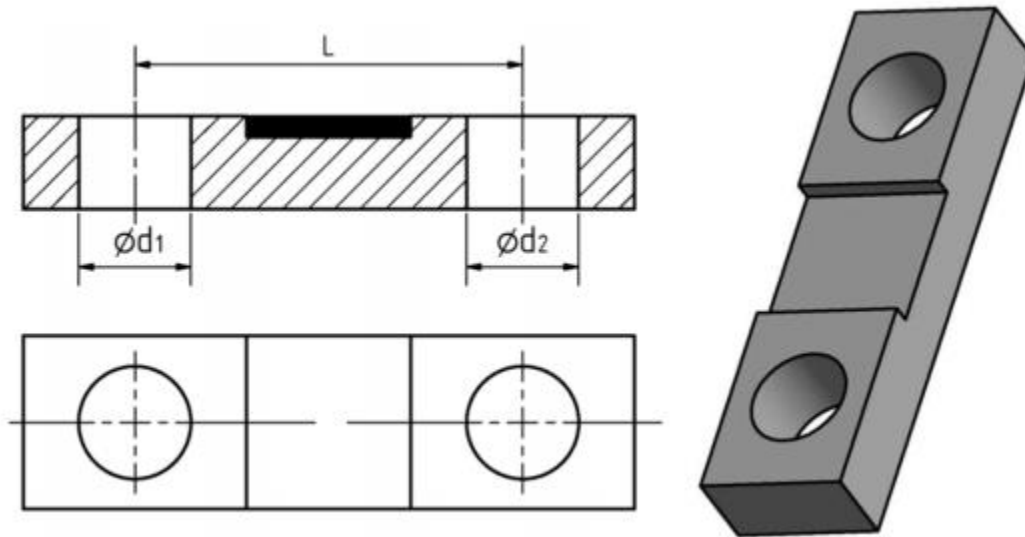
$$\Delta h_2 = \overline{BE} - \overline{EC} = R_1 + \Delta h + R_2 - 2R_1 = R_2 - R_1 + \Delta h$$

$$\Delta h_2 = R_2 - R_1 + \frac{R_1 - R_2}{\sin \frac{\alpha}{2}} = (R_1 - R_2) \cdot \left(\frac{1 - \sin \frac{\alpha}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right)$$

$$\Delta h_2 = \delta_D \cdot \left(\frac{1 - \sin \frac{\alpha}{2}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \right)$$

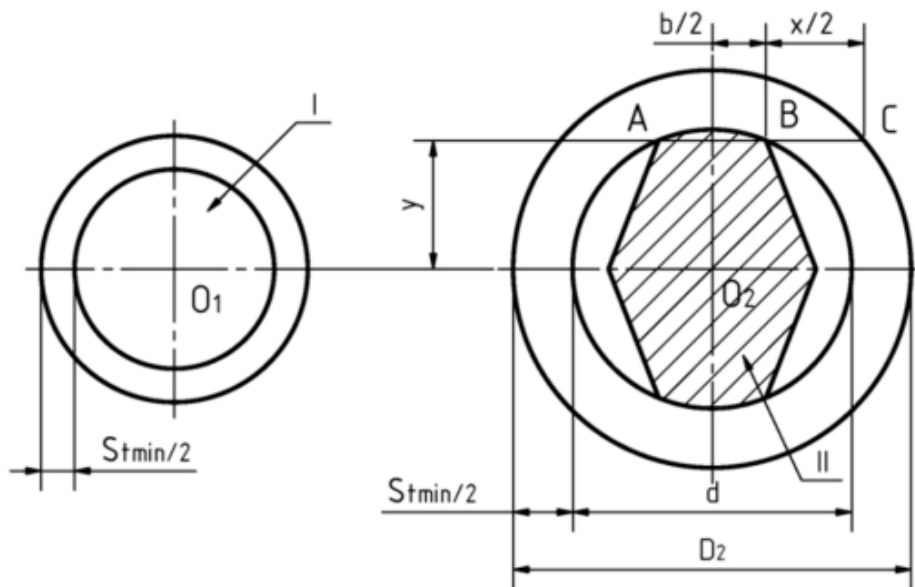
2.5.3. Грешке базирања на чеповима за центрирање

Често се обрађују елементи чије се базирање због њиховог облика мора обавити помоћу чепова за центрирање. Пример је елемент са два отвора $\emptyset_1$ и $\emptyset_2$ који су одрађени у одређеном толерантном пољу. Између отвора елемента и чепа за центрирање постоји зазор због постављања елемента у прибор.



Слика 17. Елемент за базирање [1]

Често се примењује комбинација од једног пуног и једног срезаног чепа како би се лакше регулисала величина основног растојања. На овај начин се предмет обраде може померати по x оси за $\pm x/2$, где је $x \geq S_{2min}$.



Слика 18. Шема центрирања [1]

Помоћу слике 18 се могу извести следеће релације [1]:

$$y^2 = \left(\frac{d}{2}\right)^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2$$

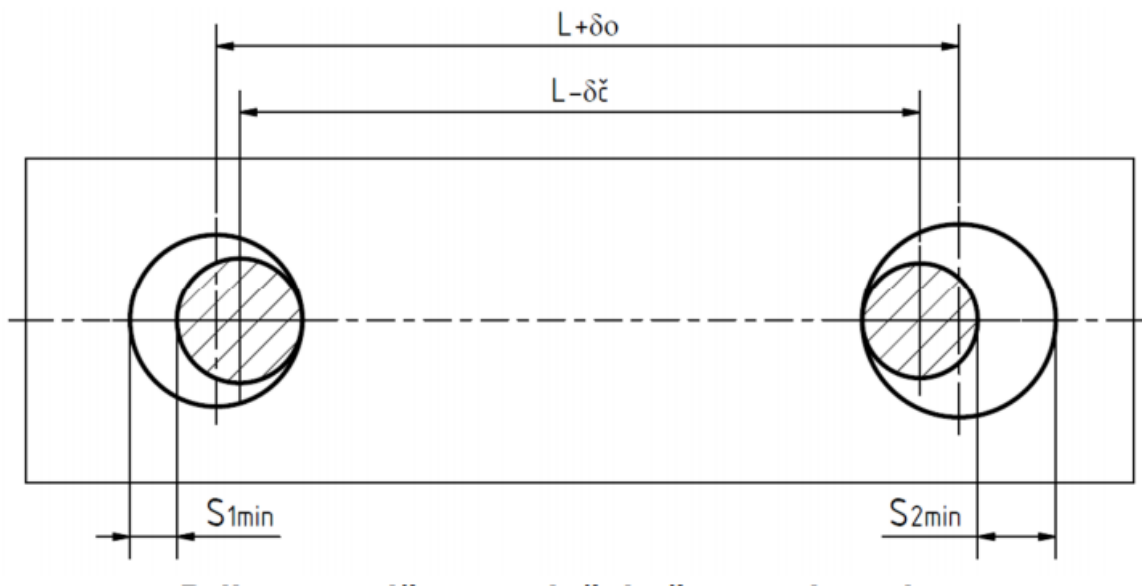
$$y^2 = \left(\frac{D_2}{2}\right)^2 - \left(\frac{b}{2} + \frac{x}{2}\right)^2 = \left(\frac{d}{2} + \frac{S_{2min}}{2}\right)^2 - \left(\frac{b}{2} + \frac{x}{2}\right)^2$$

Изједначавамо претходне две једначине [1]:

$$\begin{aligned} \left(\frac{d}{2}\right)^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2 &= \left(\frac{d}{2} + \frac{S_{2min}}{2}\right)^2 - \left(\frac{b}{2} + \frac{x}{2}\right)^2 \\ &= \left(\frac{d}{2}\right)^2 + d \cdot \frac{S_{2min}}{2} + \left(\frac{S_{2min}}{2}\right)^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2 - b \cdot \frac{x}{2} + \left(\frac{x}{2}\right)^2 \end{aligned}$$

Из чека следи да је:

$$x = \frac{d}{b} \cdot S_{2min}$$



Слика 19. Гранични положај чепова и предмета обраде [1]

На слици 19 је приказан гранични положај предмета обраде постављеног на чеповима за центрирање. Чепови су постављени на минималном осном растојању, а отвори на предмету обраде су израђени са максималним осним растојањем.

За гранични положај мора бити испуњен следећи услов:

$$S_{1min} + S_{2min} \geq \delta_o + \delta_{c\check{c}}$$

Када је овај услов испуњен предмет обраде је могуће поставити на чепове и није потребно срезивање једног од чепова.

У случају да услов није испуњен потребно је срезати један од чепова. Тада претходна једначина добија други облик [1]:

$$S_{1min} + \frac{d}{b} \cdot S_{2min} \geq \delta_o + \delta_{c\check{c}}$$

На основу претходног израза врши се прорачун ширине засецања и то као [1]:

$$b \leq \frac{d \cdot S_{2min}}{\delta_o + \delta_{c\check{c}} - S_{1min}}$$

Рачунање грешке базирања се остварује преко угаоне грешке. Угаона грешка настаје и кад је један од чепова за базирање срезан.

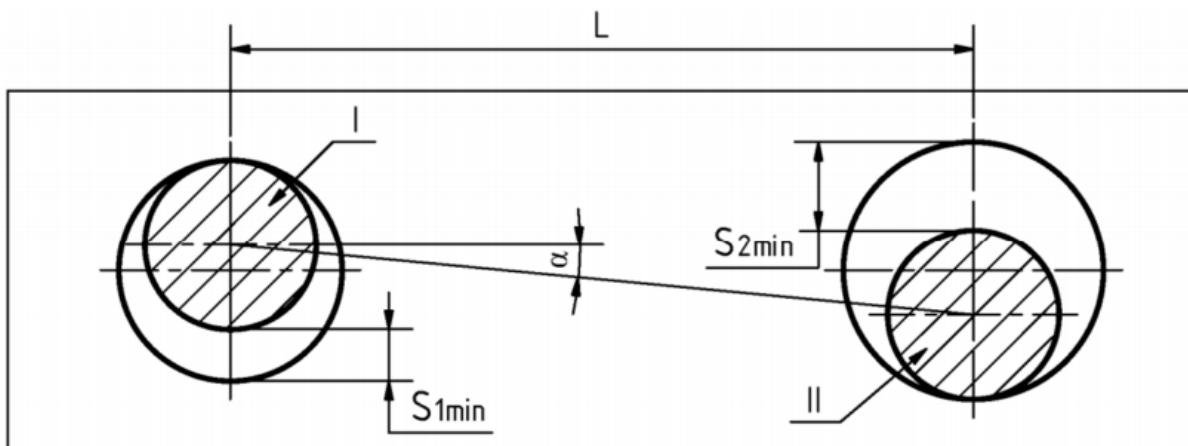
Максимална угаона грешка (угао закошења) се рачуна на основу израза:

$$\alpha = \arctg \frac{S_{1max} + S_{2max}}{2L}$$

Линеарна померања по осама износе:

$$\varepsilon = \frac{S_{max}}{2}$$

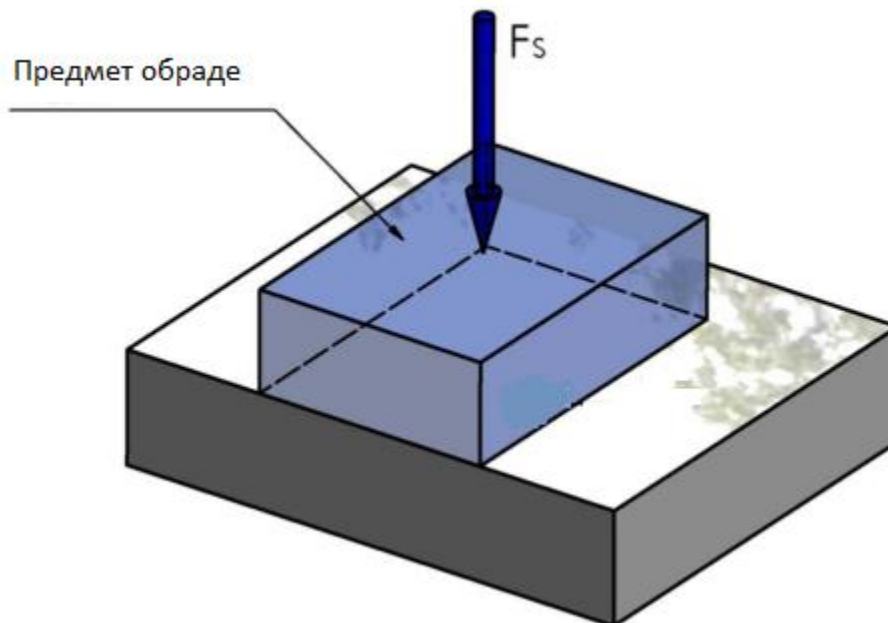
S_{max} -максимална величина зазора која се јавља на једном од чепова.



Слика 20. Угаона грешка базирања [1]

3.0.Стезање предмета обраде

На почетку сваког процеса обраде предмет обраде се поставља у стезни прибор (базира) тако да заузме унапред предвиђени положај у односу на радне елементне машине. Предмету обраде који је базиран у стезном прибору треба обезбедити сталан положај који је техничким поступком дефинисан. Због дејства динамичких сила на предмет обраде може доћи до померања предмета обраде из предвиђеног положаја, због чега долази до оштећења алата, машине, као и радног комада. Да не би дошло до оваквих појава потребно је осигурати положај радног предмета у стезном прибору. То се остварује стезањем радног предмета. Стезање предмета обраде треба извршити тако да се обезбеди положај предмета обраде који је дефинисан техничким поступком током целог процеса обраде. Шема базирања треба да буде таква да се положај предмета обраде осигура што мањом силом, да не би дошло до трајног деформисања прибора или предмета обраде. Такође треба стезање извршити на што мање места, ради лакшег приступа предмету обраде.

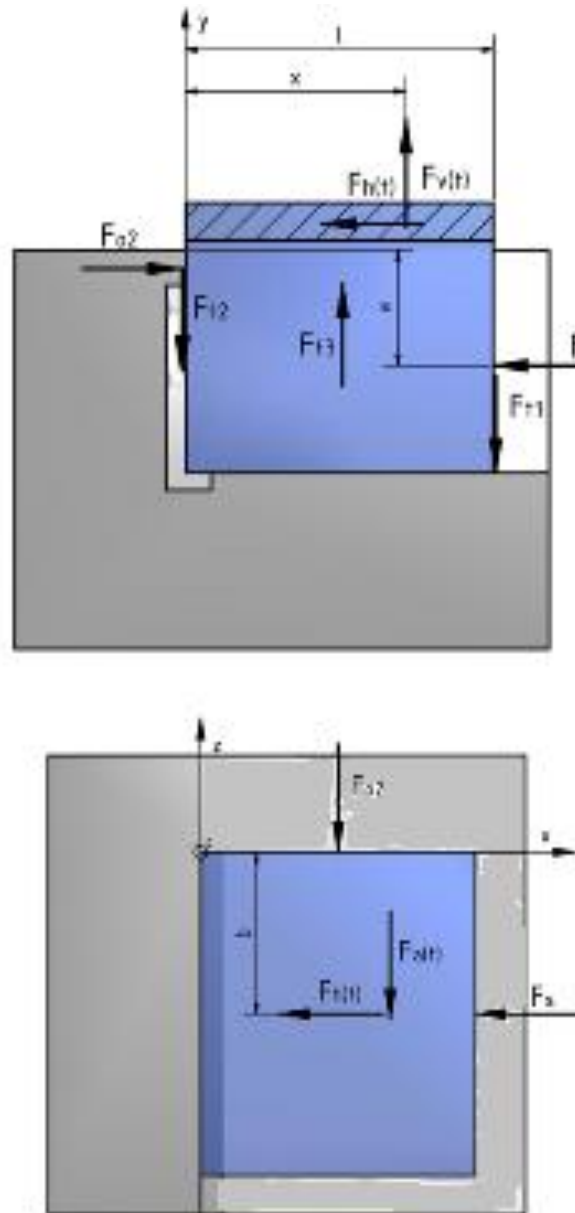


Слика 21. Пример стезања предмета обраде [1]

3.1. Прорачун сила стезања

Сила која делује на предмет обраде приликом стезања треба да буде оптимална, да осигура положај предмета обраде у пројектованом положају. Ту силу је могуће прорачунати на основу сила резања и шеме стезања. Потребно је урадити статички или динамички модел оптерећења предмета обраде на основу кога се добијају потребни резултати. На основу добијених вредности сила потребних за стезање бирају се елементи и механизми за стезање зависно од потребне брзине стезања.

На слици 22 дат је пример обраде супротносмерним глодањем за који ће бити дат прорачун силе стезања.



Слика 22. Механички модел оптерећења код супротносмерног глодања [1]

На слици су приказане компоненте силе резања $F_{h(t)}$, $F_{v(t)}$, $F_{a(t)}$ које су сложене функције времена, док расподела оптерећења зависи од координата x и y . $F_{v(t)}$ је вертикална компонента силе резања која тежи да предмет обраде подигне дуж осе y , док моменти вертикалне $F_{v(t)}$ и хоризонталне $F_{h(t)}$ компоненте силе резања теже да предмет обраде заокрену око осе z која пролази кроз тачку O . Аксијална компонента силе резања тежи да предмет обраде закрене у односу на осу x , исто се дешава под дејством вертикалне компоненте силе резања.

Циљ стезања је да се обезбеди положај предмета обраде у односу на радни елемент машине, да би се то догодило неопходно је постојање равнотежног стања сила резања и сила стезања. Из услова равнотеже по х оси следи [1]:

$$F_{h(t)} + F_s = F_{o1}$$

Отпор ослонца F_{o1} сигурно уравнотежава ове две силе, јер се ослонци увек израђују од квалитетних и термички обрађених челика.

Из услова пројекције сила на осу у следи [1]:

$$F_{v(t)} - F_{t1} - F_{t2} - F_{t3} = 0$$

Из чега произилази [1]:

$$F_{v(t)} = F_{t1} + F_{t2} + F_{t3}$$

Силе трења F_{t1}, F_{t2}, F_{t3} се рачунају према обрасцима [1]:

$$F_{t1} = \mu_1 \cdot F_s, \quad F_{t2} = \mu_2 \cdot F_s, \quad F_{t3} = \mu_3 \cdot F_s$$

μ_1, μ_2, μ_3 су одговарајући коефицијенти трења.

Заменом добијених израза у претходној једначини добија се [1]:

$$F_{v(t)} = \mu_1 \cdot F_s + \mu_2 \cdot F_s + \mu_3 \cdot F_s$$

Даљим сређивањем долази се до услова који мора бити испуњен [1]:

$$F_{v(t)} \leq \mu_1 \cdot F_s + \mu_2 \cdot (F_{h(t)} + F_s) + \mu_3 \cdot F_a$$

Сређивањем израза долазимо до [1]:

$$F_s \geq \frac{F_{v(t)} - \mu_2 \cdot F_{h(t)} - \mu_3 \cdot F_{a(t)}}{\mu_1 + \mu_2}$$

Или [1]:

$$F_s \geq \frac{F_{v(t)max} - \mu_2 \cdot F_{h(t)min} - \mu_3 \cdot F_{a(t)min}}{\mu_1 + \mu_2}$$

Из услова суме сила пројектованих на z осу следи [1]:

$$F_{a(t)} = F_{o2}$$

Услов је испуњен с обзиром на стабилност ослоних површина.

Из услова суме момената за тачку О следи [1]:

$$F_{v(t)} \cdot x + F_{h(t)} \cdot y = F_s \cdot a + \mu_1 \cdot F_s \cdot l = F_s \cdot (a + \mu \cdot l)$$

Добијамо услов [1]:

$$F_s \geq \frac{F_{v(t)} \cdot x + F_{h(t)} \cdot y}{a + \mu \cdot l}$$

Из моментне једначине за осу x може се добити зависност [1]:

$$F_{v(t)} \cdot b + F_{a(t)} \cdot y = \mu \cdot F_s \cdot b$$

На основу које се добија израз који се односи на силу стезања која се треба применити [1]:

$$F_s \geq \frac{F_{vmax} \cdot b + F_{amax} \cdot y}{\mu \cdot b}$$

За конкретан пример се на дати начин може одредити минимална потребна сила стезања која осигурава стабилнос предмета обраде за време обраде.

3.2. Фактор сигурности

Фактор сигурности или коефицијент резерве је коефицијент сигурности који за циљ има да обухвати низ допунских утицаја, системских или случајних по свом карактеру, који нису обухваћени основним прорачуном нападних сила и момената.

Фактор сигурности се рачуна по следећем обрасцу [1]:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 = \prod k_i$$

Где су:

k_0 је основни фактор сигурности који износи $k_0=1.5$;

k_1 је парцијални фактор сигурности који зависи од врсте површине стезања предмета обраде ($k_1 = 1$ за обрађене површине, $k_1 = 1.2$ за необрађене површине);

k_2 је парцијални фактор сигурности који зависи од затупљености резног алата. Величина фактора има јединичну вредност ($k_2 = 1$) при раду са оштрим резнима алатом, док је у пракси он сложена функција врсте обраде, параметара режима резања и степана похабаности алата. Величину фактора треба бирати на основу критичне вредности степена похабаности алата;

k_3 је парцијални фактор сигурности који зависи од прекидности површине која се обрађује ($k_3 = 1$ за непрекидно резање, $k_3 = 1.2$ за резање са прекидима);

k_4 је парцијални фактор сигурности који зависи од растурања силе ручног стезања ($k_4 = 1$ за механизовано стезање предмета обраде, $k_4 = 1.3$ за ручно стезање предмета обраде);

k_5 је парцијални степен сигурности који зависи од повољности распореда елемената за послуживање при ручном стезању ($k_5 = 1$ за повољан распоред, $k_5 = 1.2$ за неповољан распоред);

k_6 је парцијални фактор сигурности који зависи од евентуалног дејства момената који теже да помере предмет обраде из стегнутог положаја.

Фактор сигурности у идеалним условима износи $k = k_0 = 1.5$, док у неповољнијој комбинацији парцијалних параметара износи $k = 5-9$.

У пракси је знатно теже одредити оптималну вредност фактора сигурности. Представљени прорачун не укључује утицај крутости елемената и механизма за стезање, стабилност стезног прибора и вибрације. Поменуте утицаје је веома тешко квантитативно одредити и уврстити у прорачун фактора сигурности.

3.3. Елементи и механизми за стезање

У процесима обраде метала резањем се примењују различити типови елемената и механизма за стезање. Сви ови елементи треба да обезбеде самокочивост и једнозначну дефинисаност положаја предмета обраде у стезном прибору. Као елементи за стезање најчешће се користе завртњи, клинови, ексцентри, полуге, еластичне чауре, тањирасте опруге и слични елементи. Наведени елементи су представници групе механичких елемената за стезање. Поред њих постоје још и групе хидрауличних и пнеуматских елемената за стезање. У посебним случајевима је могуће користити електромагнетно, вакумско, као и стезање са електромоторним погоном.

3.4. Механички елементи за стезање

У ову групу елемената за стезање спадају: завртњи, клинови, ексцентри, полуге, еластичне чауре, тањирасте опруге и још доста сличних елемената.

3.4.1 Стезање завртњем

Завртањ има веома широку примену у изградњи стезних прибора. У стезном прибору се завртањ може користити као директан стезни елемент, или као у већини случајева као део склопа различитих полуга и механизма. Велика примена завртња у стезању проистиче из његових карактеристика и цене. Завртањ као елемент је веома јефтин. Поседује особину самокочивости која му омогућује да задржи предмет обраде у предвиђеном положају све док оператор не дејствује на завртањ. Такође, завртањ може да делује на предмет обраде великом аксијалном силом при дејству релативно малих момената на главу завртња.



Слика 23. Типови завртања и елемената за стезање завртњем [1]

У горњој половини слике 23 су дати разни типови завртања, а у доњем делу су дати елементи преко којих се делује на завртањ који даље преноси силу на предмет обраде.

Вредност аксијалне силе која се остварује завртњем може се прорачунати на основу следећег образаца [1]:

$$F_s = \frac{M_t}{\frac{d_m}{2} \cdot \tan(\alpha + \rho) + C}$$

Где су:

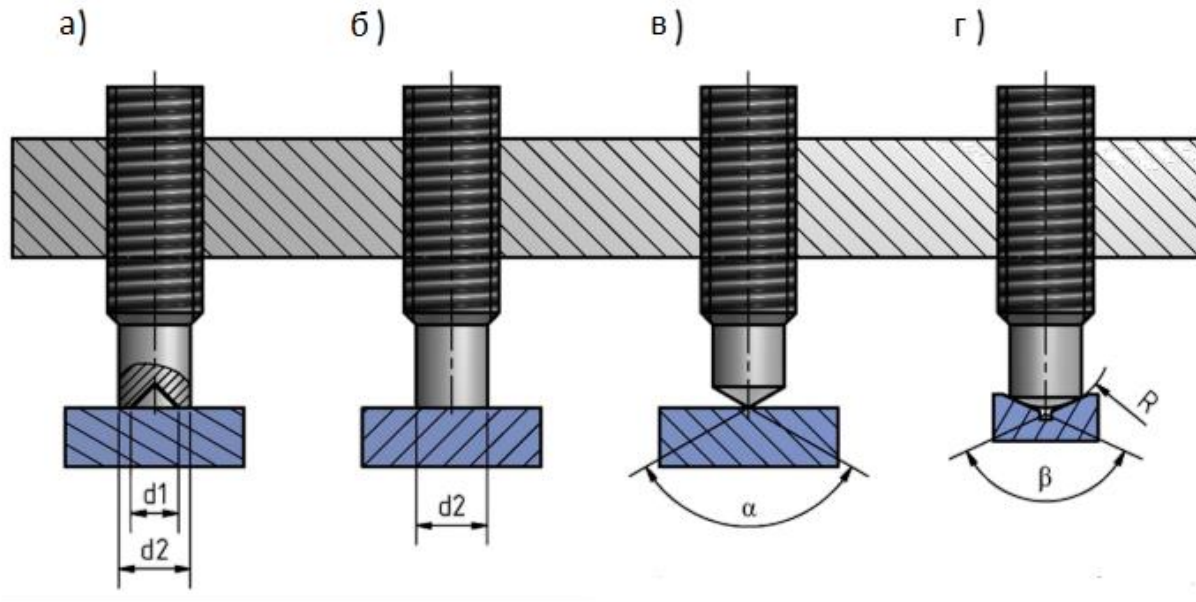
M_t - момент којим се делује на главу завртња,

d_m - средњи пречник завојнице,

α - угао завојнице

ρ - угао трења,

C - константа која зависи од облика притезне површине.



Слика 24. Облици чела завртања [1]

Чеоним површинама завртања се сила стезања преноси на предмет обраде, па је због тога облик чела завртања изузетно битан. Чеона стезна површина се најчешће изводи на један од четири начина приказаних на слици 24. Константа C која фигурише у прорачуну силе која се може остварити завртњем зависи директно од облика чеоне површине [1].

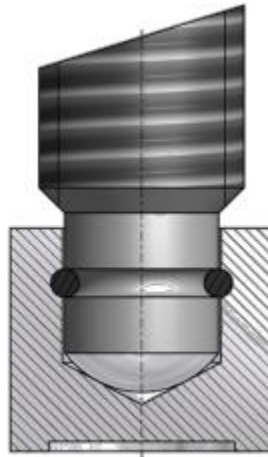
$$C = 0.33 \cdot \mu \cdot \frac{(d_2^3 - d_1^3)}{(d_2^2 - d_1^2)} \text{ -Слика 24, а}$$

$$C = 0.3 \cdot \mu \cdot d_2 \text{ -Слика 24, б}$$

$$C = 0 \text{ -Слика 24, в}$$

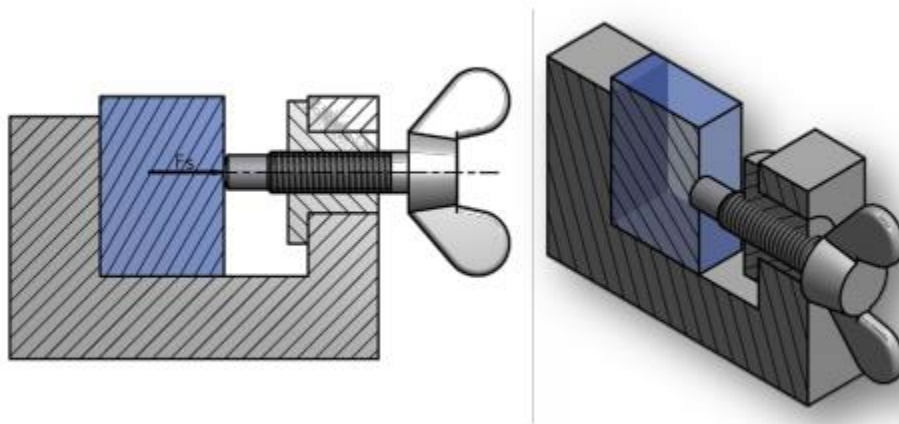
$$C = \mu \cdot R \cdot \cot\left(\frac{\beta}{2}\right) \text{ -Слика 24, г}$$

У већини случајева се стезање не обавља директно преко чеоне површине, већ преко прилагодљивих стезних елемената. Ови елементи су заменљиви и стандардни. Преко њих се сила стезања преноси по већој површини, па је притисак на површини која се стеже мањи.



Слика 25. Прилагодљиви стезни елемент [1]

У пракси се завртањ због хабања не поставља директно у тело стезног прибора, него у измењиву чауру која је упресована или на неки други начин причвршћена за тело прибора. На овај начин се заменом чауре могу користити завртњи различитог пречника. Ако дође до оштећења навоја у чаури није неопходно урезивати навој за завртањ већег пречника, већ ју је могуће заменити новом.



Слика 26. Упресована чаура за завртањ [1]

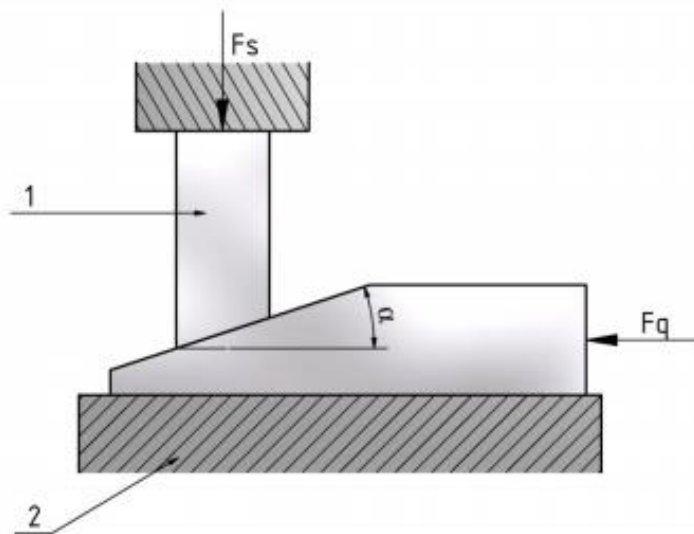
Чаура се поставља тако да шири цилиндар буде окренут ка предмету обраде. То се ради да чаура у току процеса стезања не би била истиснута из тела прибора када сила стезања пређе одговарајућу вредност.

3.4.2. Стезање клином

Велики део елемената који се користе за стезање функционише по принципу клина, па је примена разних варијанти клина веома раширена у стезним приборима. Разлог велике примене клина као елемента за стезање у стезним приборима лежи у чињеници да клин има

могућност самокочивости, да се лако израђује и да се помоћу клина могу остварити веома велике силе стезања.

Израда клина за стезање је веома једноставна, геометрија клина омогућује врло брзу и пре свега јефтину израду клина што га чини погодним за коришћење у стезним приборима. Материјал од кога се прави клин треба да буде квалитетан термички обрађен челик из разлога што клин не сме да буде деформисан дејством силе стезања. Процес стезања радног предмета помоћу клина је веома брз и једноставан. Стезање може бити ручно, када оператер делује на клин силом F_q на основу чега се јавља сила стезања F_s .



Слика 27. Шема стезања клином [1]

Величина силе стезања највише зависи од угла клина и спољашње силе која делује на клин F_q . Сила стезања предмета обраде (1) зависи од коефицијента трења површине по којој се клин креће (2). То трење се у пракси може занемарити, па из тога следи образац за рачунање силе стезања клина [1]:

$$F_s = \frac{F_q}{\tan a}$$

Сила стезања може имати веома велику вредност за релативно малу вредност спољашње силе. То се постиже када је угао клина оптималан, најбоље карактеристике показује клин са углом од $3^\circ - 5^\circ$.

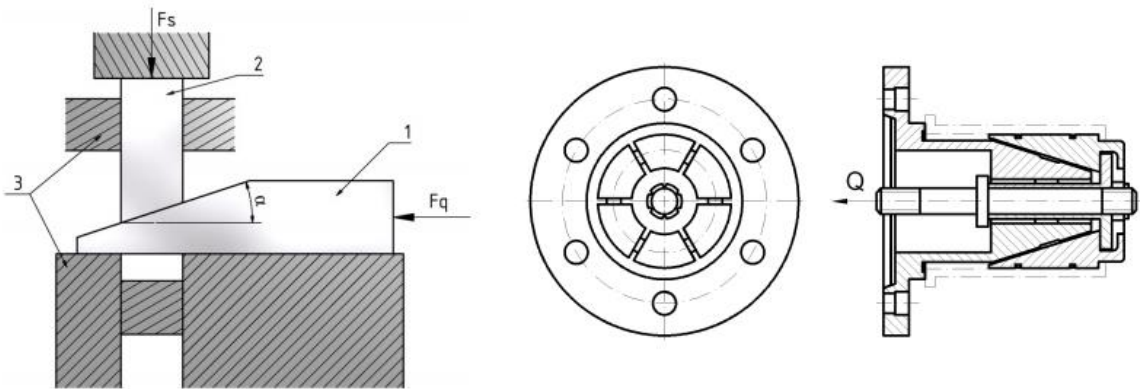
Стезање клином може бити директно или индиректно, преко потискивача, полуга и сличних елемената. Индиректним стецањем је могуће извршити тачније стецање, на основу геометрије клина се може одредити тачна вредност силе F_q . Најчешће се користе три начина стецања помоћу клина:

-директно стецање клином [1]:

$$F_s = \frac{F_q}{\tan(\alpha + \rho_1) + \tan \rho_2}$$

Где су ρ_1, ρ_2, ρ_3 одговарајући углови трења.

-стецање клином преко потискивача и двостране вођице [1]:

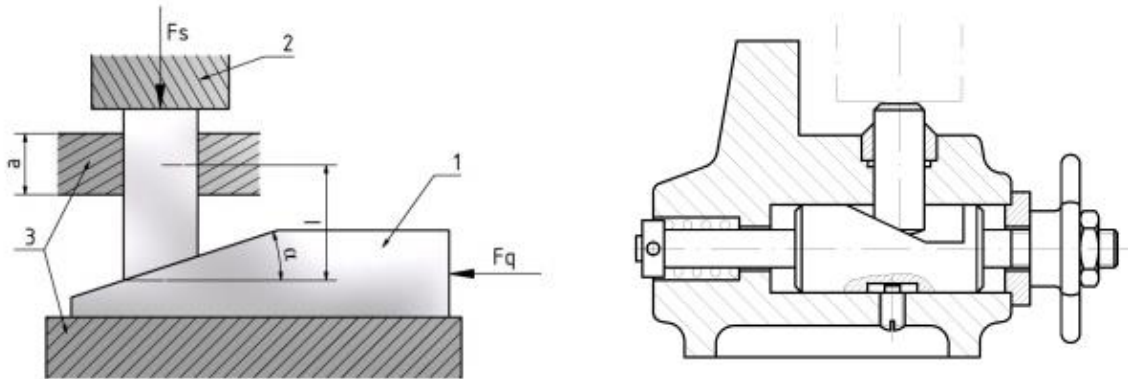


Слика 28. Стецање клином преко потискивача и двостране вођице [1]

Сила стецања се рачуна на следећи начин [1]:

$$F_s = F_q \cdot \frac{1 - \tan(\alpha + \rho_1) \cdot \tan \rho_3}{\tan(\alpha + \rho_1) + \tan \rho_2}$$

-стежање клином преко потискивача и једностране вођице [1]:

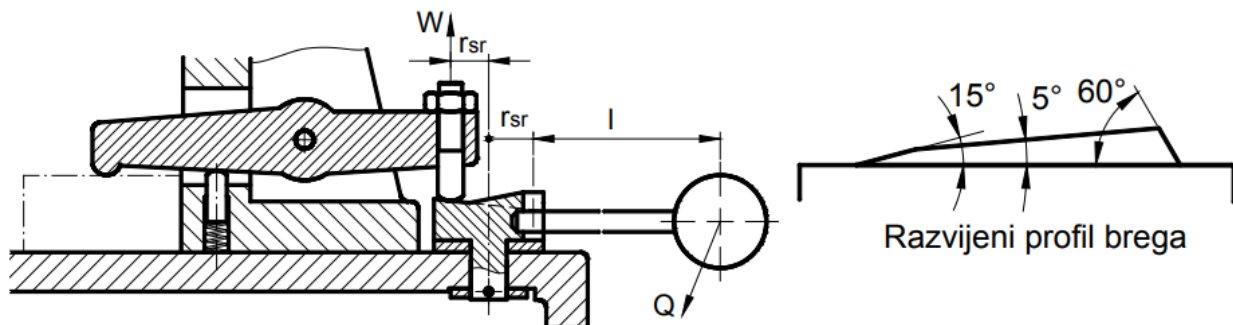


Слика 29. Стежање клином преко потискивача и једностране вођице [1]

$$F_s = F_q \cdot \frac{1 - \tan(\alpha + \rho_1) \cdot \frac{3l}{a} \cdot \tan \rho_3}{\tan(\alpha + \rho_1) + \tan \rho_2}$$

3.4.3. Стежање ексцентром

Још један представних механичких елеменат за стежање је ексцентар. Принцип рада ексцентра се заснива на принципу клина – косе равни. Коса равна код ексцентра није као код завртња обавијена око цилиндричног тела са аксијалним простирањем, већ са радијалним простирањем. Ексцентар је елемент који може бити плочаст или цилиндричан, који је обртан око осе која није његова оса симетрије.



Слика 30. Механизам ексцентра [1]

За израду ексцентра се користе челици за цементацију, они се цементирају на тврдоћу од 55-60 HRC. Радне површине ексцентра је неопходно брусити.

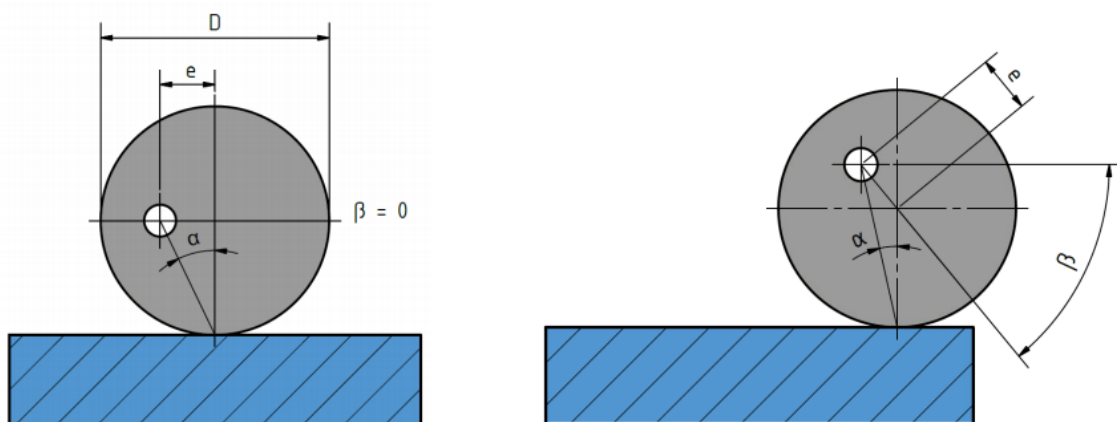


Слика 31. Ексцентар [1]

Од свих механичких елемената за стезање ексцентар има најкраће време потребно за стезање. Такође, у односу на остале механичке елементе ексцентар има знатно ужу област примене. Ексцентром се не могу стезати предмети обраде који имају доста широке толеранције. Нису погодни за обраду при променљивим вредностима силе. Примена ексцентара је најповољнија у операцијама које карактерише висока стабилност стезног прибора и обрада са незнатним нивоом вибрација.

Ексцентри се могу поделити на две групе, и то на кружне ексцентре и спиралне ексцентре.

Кружни ексцентри имају облик диска или вретена кружног пресека са ексцентрично распоређеном осом обртања, па није реч о косој равни, већ о косој закривљеној равни. Основни услов који ексцентар треба да задовољи је обезбеђење самокочивости. Да би ексцентар био самокочив потребно је да угао трења буде већи од угла пењања ексцентра.

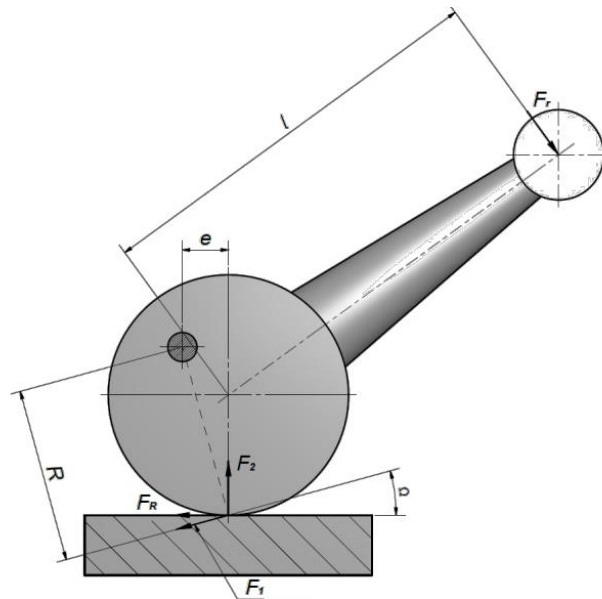


Слика 32. Зависност угла заокретања и угла пењања [1]

$$\tan \alpha = \frac{e \cdot \cos \beta}{R + e \cdot \sin \beta}$$

Где је α угао пењања ексцента, β угао закретања ексцента и e ексцентричност.

Промена угла пењања α знатно утиче на карактеристике стезања, што чини највећи недостатак кружних ексценара. Постоје два гранична положаја ексцента којима одговарају углови α_{max} и α_{min} . При максималној вредности угла пењања ексцента α_{max} може доћи до отпуштања ексцента у раду, док при минималној вредности угла пењања ексцента α_{min} настаје пораст силе стезања на контактним површина што може да доведе до отежаног отпуштања ексцента. Најповољнији угао пењања ексцента са аспекта самокочивости је $\alpha = \alpha_{max}$ [1].



Слика 33. Дејство сила у ексцентру [1]

Прорачун силе стезања код кружног ексцента може се довољном тачношћу израчунати уз претпоставку да ексцентар функционише као клин. Проблем прорачуна се своди на статичку равнотежу сила у односу на тачку обртања рукавца ексцента.

$$F_r \cdot l = F_1 \cdot R$$

$$F_t = F_1 \cdot \cos \alpha$$

На основу чега следи [1]:

$$F_s = \frac{F_t}{\tan(\alpha + \rho_1) + \tan \rho_2}$$

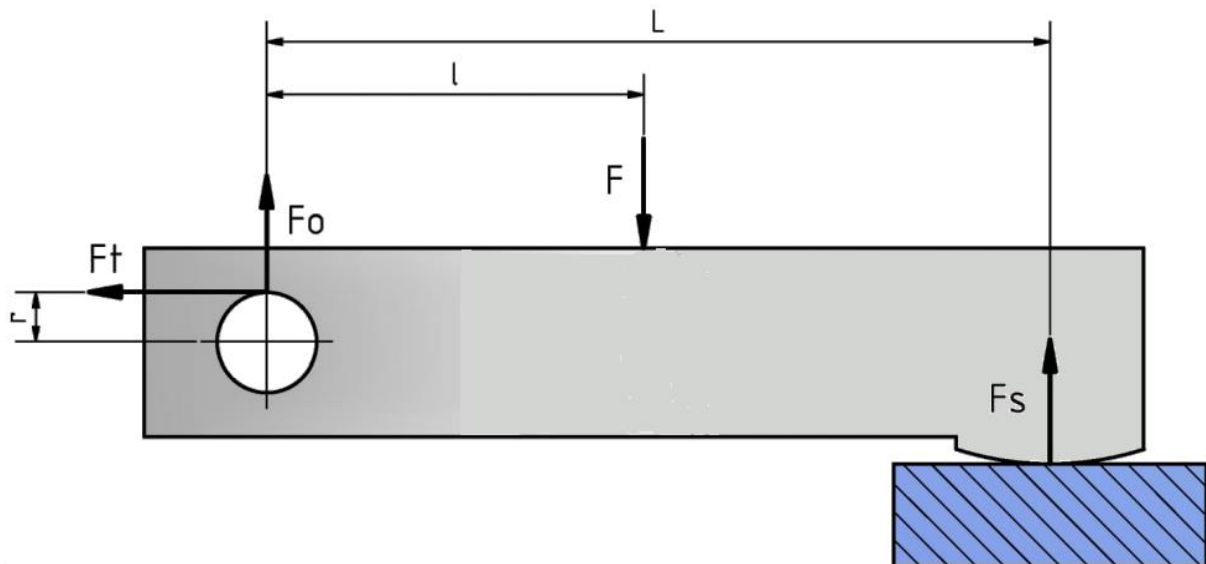
Даљим сређивањем се долази до [1]:

$$F_s = \frac{F_r \cdot l}{[\tan(\alpha + \rho_1) + \tan \rho_2] \cdot R}$$

Спирални ексцентри се у пракси користе у форми ексцентара са Архимедовом спиралом, код кога је угао нагиба ексцентра константан.

3.4.4. Стезање полугом

Овај вид стежања се обавља помоћу двокраке полуге која преноси силу коју на њу остварује неки други елемент као што је завртањ, клин, ексцентар, хидраулични или пнеуматски цилиндар. Полуга је елемент једноставне геометрије, који је једноставно израдити. Потребно је користити квалитетне материјале како би полуга при експлоатацији могла да издржи сложена напрезања. Постоје три случаја стежања полугом.



Слика 34. Први тип полуге [1]

Силе стежања се прорачунавају на основу статичких једначина равнотеже у зависности од спољашњег оптерећења и геометријских односа.

За случај полуге на слици 34 важи [1]:

$$\sum M_o = 0 \rightarrow F_s \cdot l - F \cdot l + F_t \cdot r = 0$$

Следи [1]:

$$F_s = \frac{F \cdot l - F_t \cdot r}{L}$$

и

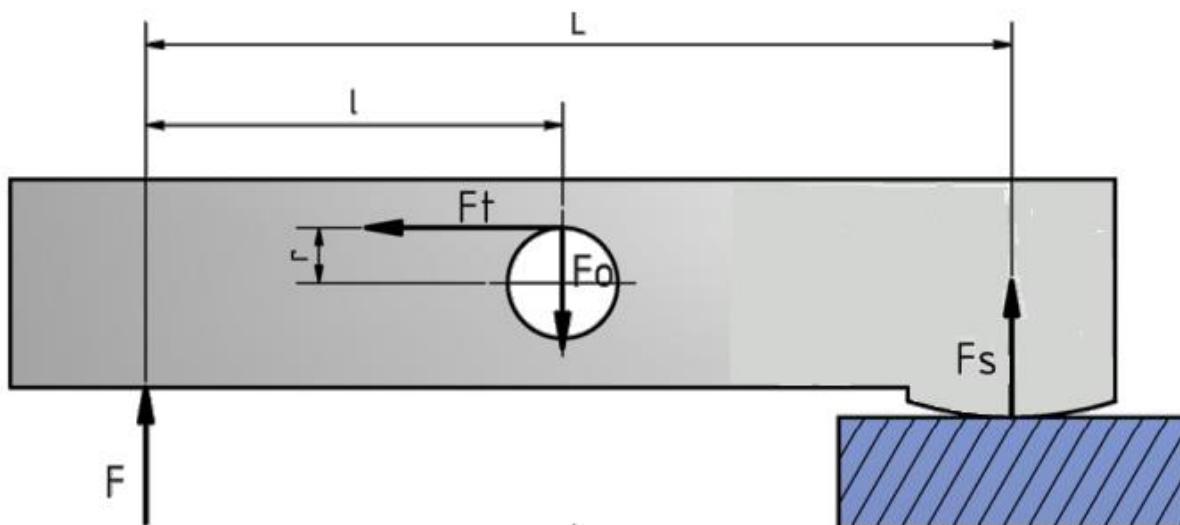
$$\sum Y_i = 0 \rightarrow F_o + F_s - F = 0 \rightarrow F_o = F - F_s$$

На основу чега се долази до израза за силу [1]:

$$F_s = \frac{F \cdot L - \mu \cdot r \cdot (F - F_s)}{L}$$

Коначни израз [1]:

$$F_s = F \cdot \frac{(l - \mu \cdot r)}{(L - \mu \cdot r)}$$



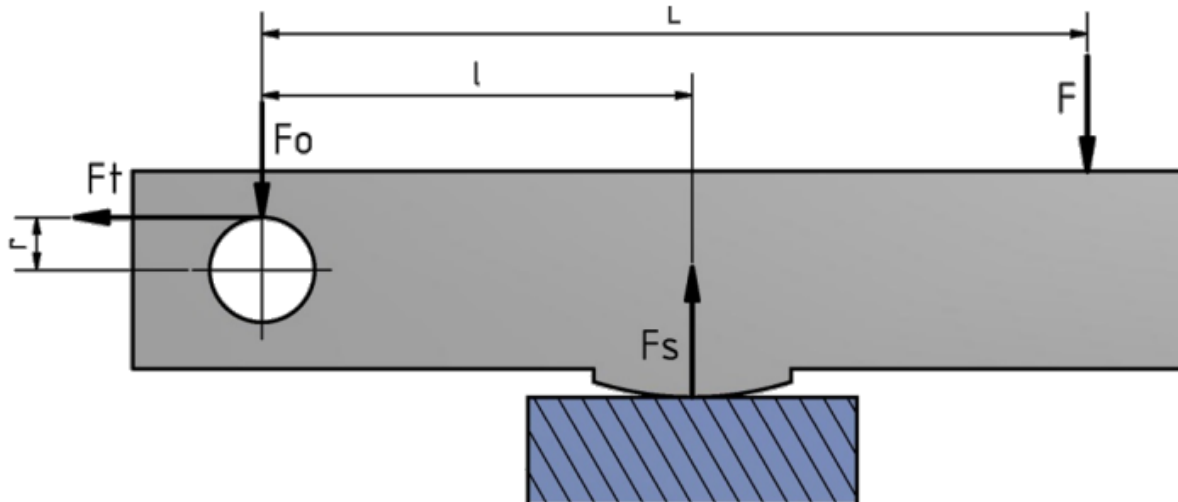
Слика 35. Други тип полуге [1]

За други случај важи [1]:

$$F_s = F \cdot \frac{l - \mu \cdot r}{L - l + \mu \cdot r}$$

У већини случајева при стезању полугом се у обзир не узима трење, па је [1]:

$$F_s = F \cdot \frac{l}{L - l}$$



Слика 36. Трећи тип полуге [1]

За трећи случај важи [1]:

$$F_s = F \cdot \frac{L - \mu \cdot r}{l - \mu \cdot r}$$

Односно

$$F_s = F \cdot \frac{L}{l}$$

Анализом датих израза долази се до закључка да је за стезање полугом најповољнији трећи случај. Применом овакве полуге се постижу силе стезања које су 2-3 пута веће у односу на силу F . Сила стезања је у функцији односа L/l [1].

3.5. Механизација стезних прибора

Ручно стезање има много недостатака, као што су велико време стезања и немогућност одређивања тачне силе стезања. У серијској и масовној производњи је потребно да време стезања буде што краће, а да интензитет силе стезања буде у предвиђеним границама. Пошто се ови услови не могу испунити приликом ручног стезања приступа се механизацији стезних прибора. За механизацију стезних прибора се користе различити елементи који олакшавају стезање. Помоћу оваквих елемената је могуће аутоматизовати производњу чиме би се још више скратило помоћно радно време.

Према степену механизације и аутоматизације стезни прибори се деле на [1]:

- механизоване,
- полуаутоматске,
- аутоматске

Код механизованих стезних прибора се стезање претходно постављеног предмета обраде врши помоћу хидрауличних, пнеуматских и сличних система. Код полуаутоматских стезних прибора се стезање и део операција постављања предмета обраде у прибор изводи аутоматски, без учешћа радника у процесу. Аутоматски стезни прибори извршавају све операције постављања предмета обраде, обраде и уклањање предмета обраде аутоматски, у потпуности без учешћа радника. Степен аутоматизације стезних прибора се одређује према броју операција и захвата обухваћеним механизацијом и аутоматизацијом. Процењује се да време обраде просечно износи 45-50% укупног времена обраде, што значи да се остатак времена троши на помоћне активности. Потребно је помоћу елемената за механизацију и аутоматизацију што више смањити припремно време.

3.6. Пнеумауматски уређаји

У савременим приборима пнеуматски елементи имају значајну примену због својих повољних особина као што су [1]:

- једноставна конструкција и експлатација,
- широко поље примене,
- мало време стезања,
- релативно мали габарити система,
- могућност остваривања дефинисаних вредности сила стезања.

Пнеуматски системи помоћу којих се извршава стезање и регулисање силе стезања се састоје од [1]:

- припремне групе (пречишћивач ваздуха, зауљивач ваздуха и брзопусни вентили),
- вентила (регулатора притиска),
- пригушнице (регулатора брзине),
- разводника,
- разводних цеви.

3.6.1. Клипни пнеуматски уређаји

Клипни пнеуматски уређаји се израђују у две верзије и то цилиндри једносмерног дејства и цилиндри двосмерног дејства. Цилиндри једносмерног дејства су цилиндри који у себи поседују повратну опругу којом се клип цилиндра враћа у почетни положај. Конструкција ових цилиндара је једноставна. Потрошња компримованог ваздуха је знатно мања у односу

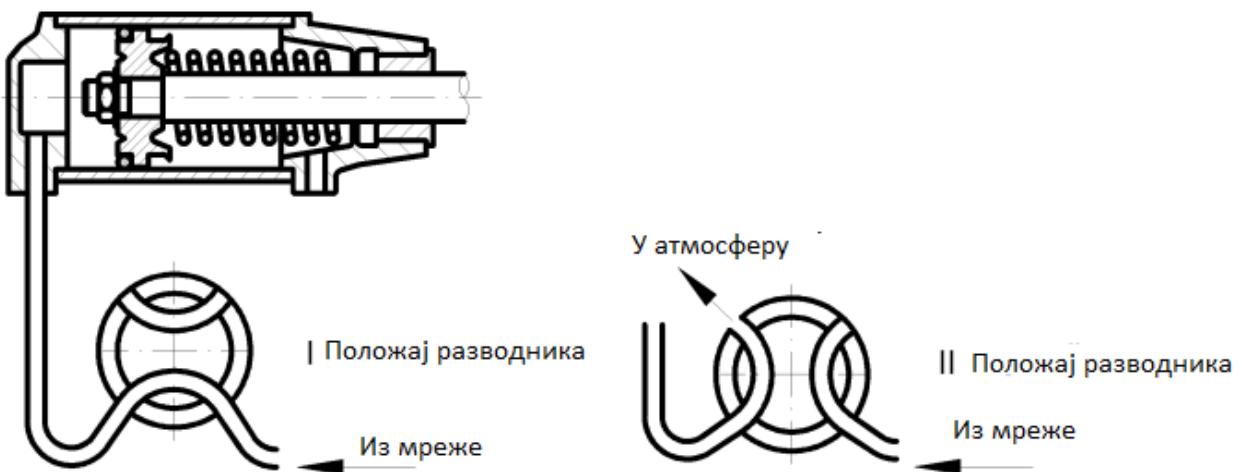
на цилиндру двосмерног дејства. При раду цилиндра део енергије се у радном ходу троши на савлађивање еластичне силе опруге. Примењују се у ситуацијама када је потребан мањи радни ход.

Минимална сила на клипњачи цилиндра се рачуна по обрасцу [1]:

$$F = \frac{\pi}{2} \cdot d^2 \cdot p \cdot \varphi - F_0$$

Где је:

- d - пречник цилиндра,
- p - притисак ваздуха у цилиндру,
- φ - степен искоришћења,
- F_0 - максимална сила еластичне опруге.



Слика 37. Цилиндар једносмерног дејства [1]

Померање клипа код двосмерног цилиндра из почетног у радни положај и обрнуто се врши под дејством компримованог ваздуха. Погодан је за коришћење када се због геометрије предмета обраде захтевају већи радни ходови.

Сила на клипњачи цилиндра се прорачунава према обрасцу [1]:

$$F = \frac{\pi}{2} \cdot d^2 \cdot p \cdot \varphi$$

Где су:

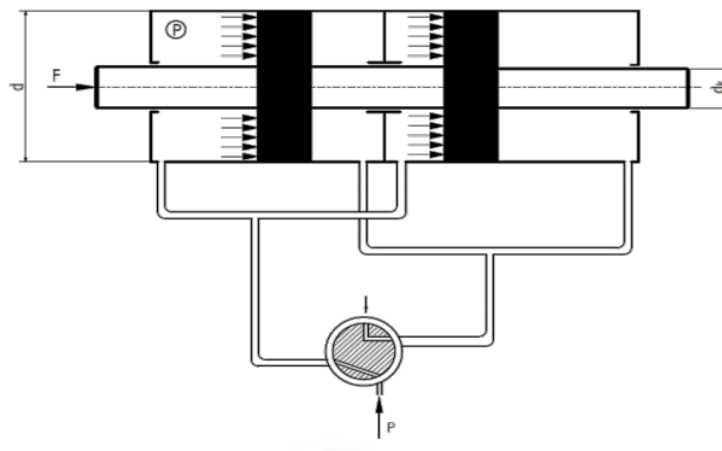
- d - пречник цилиндра,
- p - притисак ваздуха у цилиндру,
- φ - степен искоришћења.



Слика 38. Цилиндар двоструког дејства [1]

3.7. Двојни клипни уређаји

Овакав тип пнеуматског елемента се користи када је потребна већа сила стезања уз задржавање постојећих габарита пнеуматског цилиндра.



Слика 39. Двојни клипни уређај [1]

Сила стезања се рачуна према обрасцу [1]:

$$F = 2 \cdot \pi \cdot \frac{d^2 - d_k^2}{4} \cdot p \cdot \varphi$$

-d - пречник цилиндра,

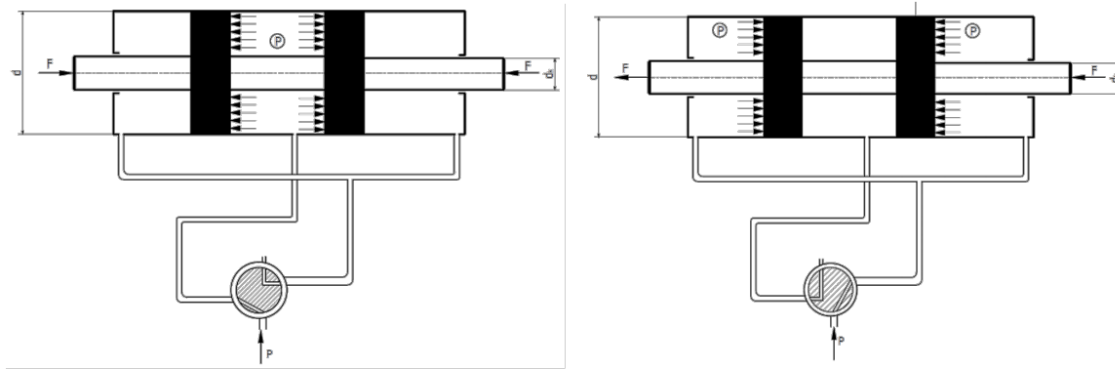
- d_k - пречник клипњаче,

-p - притисак ваздуха у цилиндру,

- φ - степен искоришћења.

3.8. Цилиндри двоструког дејства

Цилиндри двоструког дејства се користе када је потребно да сила истовремено пренести у два различита смера, а да то не значи неминовно повећање габарита елемента.



Слика 40. Цилиндар двоструког дејства [1]

$$F = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot p \cdot \varphi$$

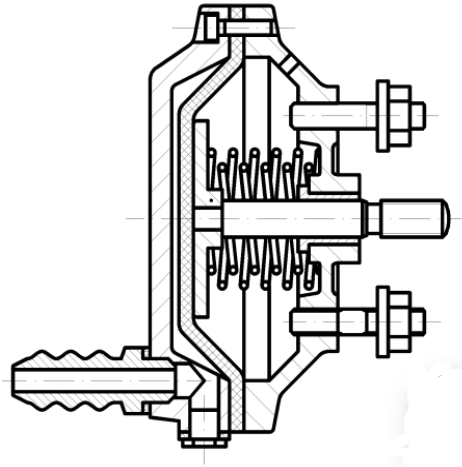
-d - пречник цилиндра,

-p - притисак ваздуха у цилиндру,

-φ - степен искоришћења.

3.9. Пнеуматске коморе са дијафрагмом

Мембранске стезне коморе се израђују са различитим величинама хода клипњаче. Величина хода клипњаче зависи директно од пречника, дебљине и материјала од кога је израђена дијафрагма. Величина силе стезања се мења у функцији хода клипњаче.

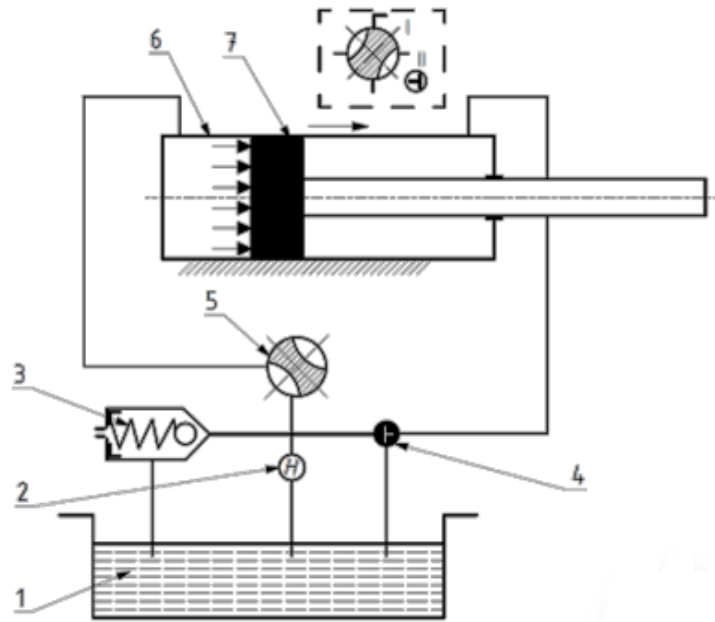


Слика 41. Шематски приказ мембранске коморе [1]

3.10. Хидраулични уређаји

У модерним производним процесима често су потребне велике силе за стезање радног предмета. Велике силе стезања без већег повећања елемената за стезање могу да произведу хидраулични уређаји. Хидраулични уређаји раде на знатно вишим притисцима у односу на пнеуматске уређаје који раде на ниским притисцима 5-8 МПа. Хидраулични уређаји раде са притисцима од преко 100 МПа што их чини знатно ефикаснијим од пнеуматских уређаја. Предности хидрауличних уређаја за стезање су [1]:

- пречници цилиндара хидрауличних уређаја су знатно мањи, због чега су габарити прибора мањи,
- притисци су виши, па су и силе стезања веће,
- могуће је регулисати вредност силе стезања преко притиска радног флуида,
- радни флуид је уље, па није потребно подмазивање као код пнеуматских уређаја,
- хидраулични уређаји су бешумни.



Слика 42. Хидраулични стезни систем [1]

Хидраулична инсталација за стезање се састоји од: резервоара са флуидом (1), пумпе са електромотором (2), сигурносног вентила (3), пригушнице (4), разводника (5), коморе цилиндра (6), клипа (7).

Сила стезања хидрауличног система се рачуна према обрасцу [1]:

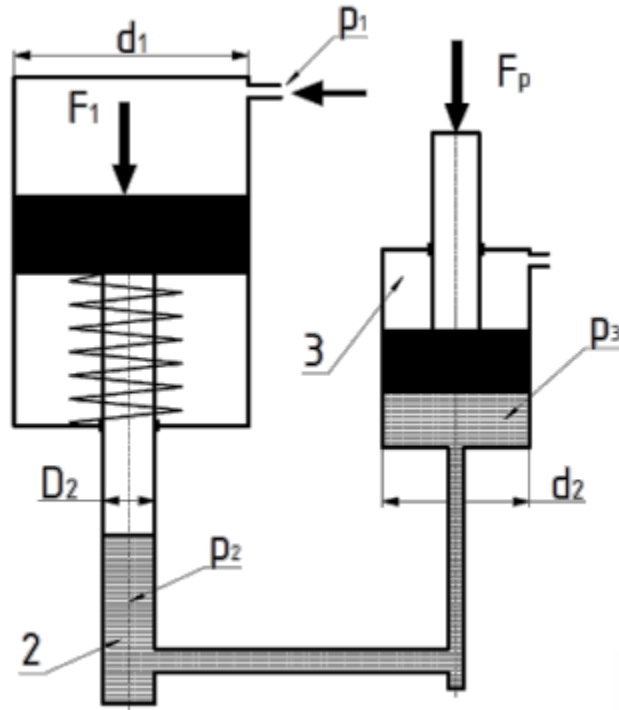
$$F = p \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

- p - притисак радног флуида,

- d - пречник цилиндра.

3.11. Пнеумохидрауличко стезање

Код ових уређаја се висок притисак течности постиже трансформацијом енергије из сабијеног ваздуха преко система који је сличан систему спојених судова. Ови уређаји омогућавају велике силе стезања без посебних погонских агрегата. Уређај је једноставне конструкције и мале цене.



Слика 43. Пнеумохидраулични стезни систем [1]

На основу слике 43 се може доћи до силе стезања овог система.

Компримовани ваздух притиска p_1 се упумпава у цилиндар пречника D_1 , дејством притиска на клипњачу настаје сила F_1 чија се вредност рачуна према изразу [1]:

$$F_1 = \frac{D_1^2 \cdot \pi}{4} \cdot p_1 \cdot \varphi_1$$

- φ – степен искоришћења.

Клипњача делује на уље затвореног хидрауличног система, сила F_2 се рачуна према обрасцу [1]:

$$F_2 = \frac{D_2^2 \cdot \pi}{4} \cdot p_2 \cdot \varphi_2$$

Силе F_1 и F_2 су истог интензитета, из чега следи притисак у другом цилиндру [1]:

$$F_1 = F_2 \rightarrow \frac{D_1^2 \cdot \pi}{4} \cdot p_1 \cdot \varphi_1 = \frac{D_2^2 \cdot \pi}{4} \cdot p_2 \cdot \varphi_2 \rightarrow p_2 = p_1 \cdot \frac{D_1^2 \cdot \varphi_1}{D_2^2 \cdot \varphi_2}$$

Притисак флуида у трећем цилиндру је једнак притиску у другом цилиндру $p_3 = p_2$, па се коначна сила стезања рачуна као [1]:

$$F_p = \frac{D_3^2}{4} \cdot p_2 \cdot \varphi_3 = p_1 \cdot \frac{D_1^2 \cdot D_3^2 \cdot \pi \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_3}{D_2^2 \cdot \varphi_2}$$

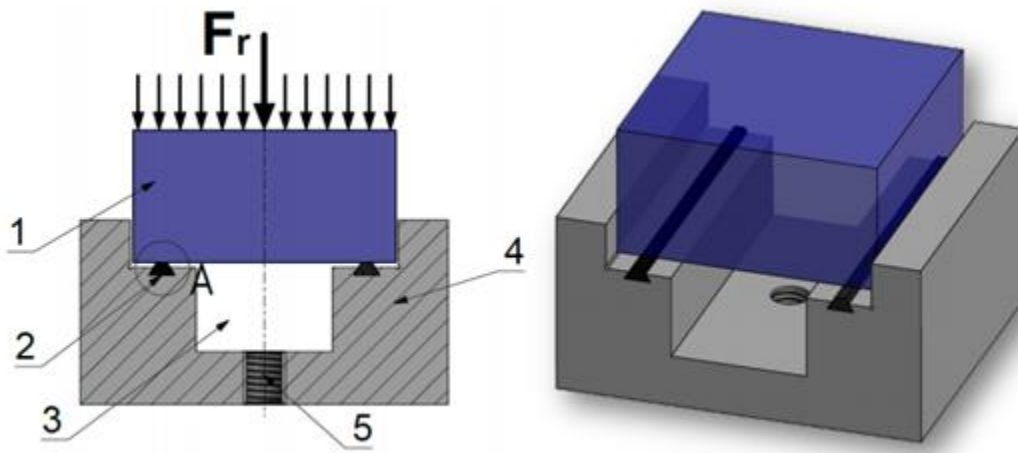
- D_1, D_2, D_3 - пречници цилиндара,

- p_1, p_2, p_3 – притисци у цилиндрима,

- $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – степени искоришћења у цилиндрима.

3.12. Вакумско стезање

Вакумско стезање се користи за фину обраду делова од различитих материјала који се лако деформишу услед деловања високог притиска на њихову површину. Вакумско стезање распоређује силу по целој површини стегнутог дела, па је притисак по јединици површине знатно мањи и не долази до деформисања.



Слика 44. Уређај за вакумско стезање [1]

Комора 3 је изолована од атмосфере, кроз канал 5 се испумпава ваздух из коморе 3 услед чега у комори настаје вакум. Прекид стезања се остварује повезивањем коморе 3 са атмосфером.

3.13. Електромагнетно стезање

Електромагнетни стезачи користе силу електромагнета код електричне побуде. Примењују се за стезање делова од феромагнетних материјала са великом контактном површином. Постављањем предмета обраде на два разноимена пола електромагнета стварају се линије магнетне силе кроз предмет обраде, што проузрукује силу стезања F_s која тежи да ваздушни простор δ између магнета и предмета обраде учини то мањим. Потребно је да површина стезања буде фино обрађена. Најчешће се користе за стезање предмета обраде при брушењу.

4.0. Носивост и попустљивост контакта елемената прибора и радног предмета

Позиционирањем и стезањем се радни предмет доводи у контакт са елементима прибора помоћу којих се обављају процеси обраде. Контакт између ових елемената се теоријски посматрано остварује по површинама, линијама и тачкама, односно по реалним равним површинама и елементарним површинама формираних око елементарних линија и тачака. Током процеса обраде силе и моменти резања се преносе са резног алата на радни предмет, елементе за стезање, елементе тела прибора и елементе машине алатке. Сви поменути елементи су међусобно повезани неком од веза. У оваквом систему преноса оптерећења са аспекта носивости и попустљивости најосетљивија веза коју одређује контакт радног предмета са елементима прибора. Често се дешава да и остали елементи система имају значајну попустљивост.

По дефиницији крутост c представља однос силе и помераја, односно [2]:

$$c = \frac{F}{\varepsilon}$$

Где је:

c – крутост,

F – сила,

ε – померање изазвано дејством силе.

Попустљивост је по дефиницији једнака реципрочној вредности крутости [2]:

$$p = \frac{1}{c} = \frac{\varepsilon}{F}$$

Прибор као систем чини већи број елемената који су међусобно повезани везама растављивог или нерастављивог типа. Свака веза елемената има одговарајућу попустљивост. Ниво попустљивости зависи од великог броја фактора везаних за спољашње оптерећење и карактеристике елемената у контакту.

У систему преноса оптерећења од радног предмета до елемената машине алатке често постоји више од једне везе, за систем у коме постоји n веза укупна крутост c ће по одређеном правцу и смеру бити сложена функција [2]:

$$c = f(n_i, c_i, M_i, F_i)$$

Где је:

n_i – број веза елемената,

c_i – крутост i -те везе по одређеном правцу и смеру,

M_i – моменти резања који оптерећују i -ту везу,

F_i – сила резања која оптерећује i -ту везу.

Попустљивост веза може имати лоше последице по сам систем, тада систем не може да прими на себе све силе настале резањем, а да не дође до релативног померања елемената система. Оваква померања доводе до вибрација које неповољно утичу на процес обраде.

Проблем попустљивости се своди на померања настала у контакту елемената за стезање и радног комада из разлога што су везе ових елемената растављивог типа, а спољашње оптерећење се уравнотежава преко сила трења. Нерастављиве везе типа завареног споја или високо круте растављиве везе имају малу попустљивост.

4.1. Утицај геометрије контакта на носивост и попустљивост између елемената прибора и радног предмета

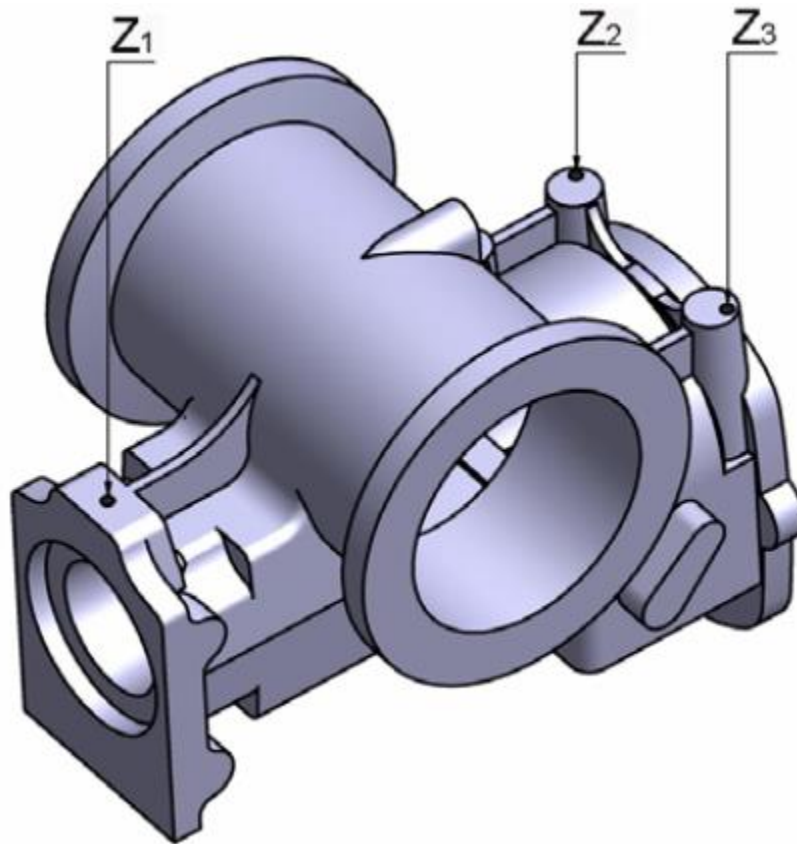
Када спољашња оптерећења (силе и моменти резања) делују управно на осу елемената за стезање и позиционирање онда се оне уравнотежавају силама трења које настају у контакту између елемената прибора и предмета обраде. Сила трења зависи од нивоа нормалног оптерећења (силе стезања), карактеристика материјала елемената у контакту, микрогеометрије контакта и бројних других параметара који дефинишу услове контакта. Веома је битан тип подмазивања, најзначајније су карактеристике при граничном подмазивању. У ситуацији када елемент за стезање продире у предмет обраде реално је очекивати да је продирање средстава за хлађења и подмазивања отежано у односу на класичне типове контаката. Према истраживањима сила трења није линеарно зависна од оптерећења.

На тачност израде радног предмета у случају када се спољашње оптерећење уравнотежава силама трења поред вредности силе стезања, коефицијента трења зависе и од макрогеометрије контакта који дефинише напонска поља и померање у зонама контакта која одређују попустљивост и носивост спојева.

Утискивање елемента за стезање у предмет обраде долази у обзир за велики број делова, пре свега код делова чије су димензије у широким толеранцијама као што су отковци и одливци. Могуће је користити овакав метод стезања и код делова чије се површине које су предвиђене за стезање не обрађују, и код делова којима естетски изглед није примаран. То је најчешће случај са деловима попут: кућишта, постоља, носача и сличних делова.

У модерној производњи се операције најчешће састоје из великог броја захвата, у којима се примењује велики број различитих алата и режима. Због ових разлога је неопходно обезбедити већу носивост споја због добијања тачнијих димензија. Мања носивост може довести до грешака тачности димензија.

Тежи се да се предмет обраде у циљу повећања носивости и смањењу попустљивости и уопште поузданости стезања и позиционирања групе делова оптерете у уским зонама и тако локално деформишу радни предмет чиме се постиже боље стезање.



Слика 45. Примери зона стезања које се могу трајно деформисати [4]

На слици 45 је приказано кућиште мењача. Зоне око тачака Z_1 , Z_2 и Z_3 представљају површине које су пројектоване тако да могу бити локално деформисане приликом стезања, а да радни комад не претрпи функционална оштећења.

Претпоставке на којима се заснива метод свесног утискивања су [2]:

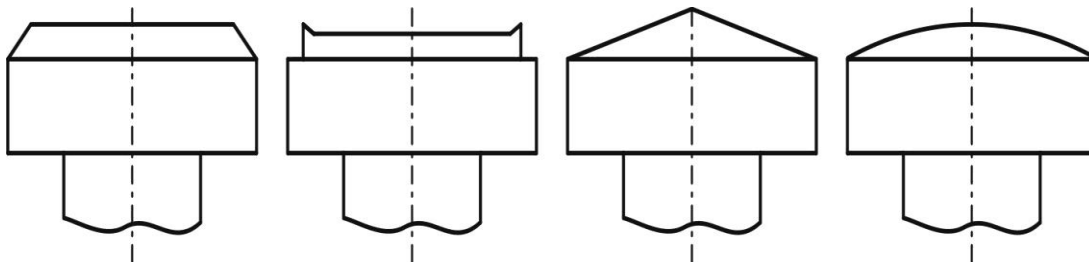
- попустљивост споја у зонама где се врши стезање, зависи поред микрогеометрије контактних површина и од макрогеометрије елемената за стезање и радног предмета,
- тангенцијална носивост контакта у зонама у којима се врши стезање у значајној мери зависи од макрогеометрије контаката елемената за стезање и радног предмета,
- избором геометрије контакта између елемената за стезање и радног предмета може повећати тангенцијална носивост и смањити попустљивост контакта чиме се побољшава тачност обраде,

-елемент за стезање са оштрим врхом може када је утиснут у радни предмет да обезбеди мању попустљивост и већу носивост споја у односу на елементе за стезање који не врше утискивање чела.

4.2. Моделовање контакта елемената прибора и радног предмета са аспекта носивости и попустљивости

За разлику од до сада наведеног начина стезања радног предмета при коме не долази до деформисања предмета током стезања може се применити и начин где долази до локалног деформисања радног предмета. Овакав начин стезања се своди на утискивање чела елемента за стезање у радни предмет чиме се постиже већа носивост. Свесно утискивање чела елемента за стезање у радни предмет се примењује у случајевима када површина преко које се врши стезање не мора да задовољи одређене естетске норме, и када се стезна површина накнадно обрађује.

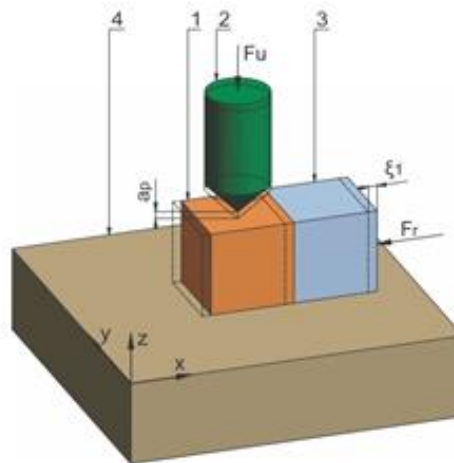
Утицај чела елемента за стезање није занемарљив. Облик чела знатно утиче на носивост елемента за стезање. Четири облика чела су подвргнута експерименту у програмском пакету Simulfact Forming у условима статичких и динамичких оптерећења са циљем одређивања најповољнијег облика чела са аспекта носивости.



Слика 46. Облици завршетка елемената за стезање [2]

На слици су приказани облици чела елемената за стезање [2]:

- а) са равним челом,
- б) са челом у облику кружног клина,
- в) са челом у облику купе,
- г) са сферичним челом.



Слика 47. Симулациони модел [2]

На слици 47 је приказан симулациони модел кога чине [2]:

1. радни предмет,
2. утискивач који преко силе F_c симулира силу стезања,
3. потискивач који преко силе F_t симулира резање,
4. постоље.

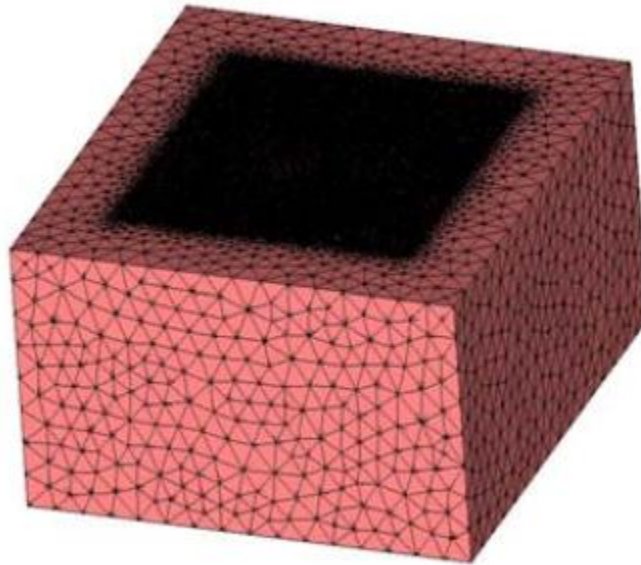
У првом кораку се преко утискивача делује на радни предмет тако да утискивач продре у радни предмет до одређене дефинисане дубине. Након тога утискивач не врши никакво померање. Програм омогућава да се за дефинисану дубину утискивања одреди сила утискивања односно сила стезања F_c . У другом кораку се радни предмет потискује преко потискивача у правцу x осе при чему се прати зависност силе потискивања од хода потискивача. Треће између постоља и радног предмета се у овом случају занемарује пошто се прати попустљивост између стезног елемента и радног предмета.

Радни предмет који се подвргава симулацији је дефинисан мрежом коначних елемената. Карактеристике мреже су [2]:

-тип коначних елемената – хексахедрал,

-величина елемената је 1,5 mm, мрежа у зони контакта је уситњена до величине од 0,1875 mm,

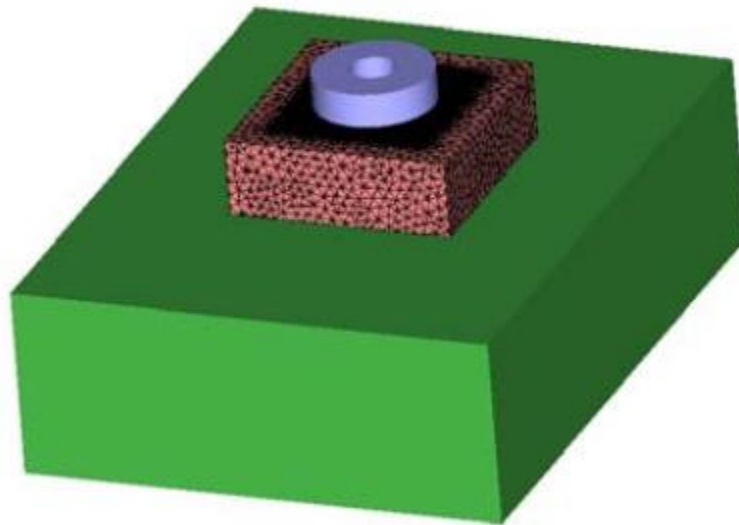
-број коначних елемената је 31928.



Слика 48. Мрежа коначних елемената радног предмета [2]

4.2.1. Моделовање контакта између елемената за стезање са челом у облику кружног клина и предмета обраде

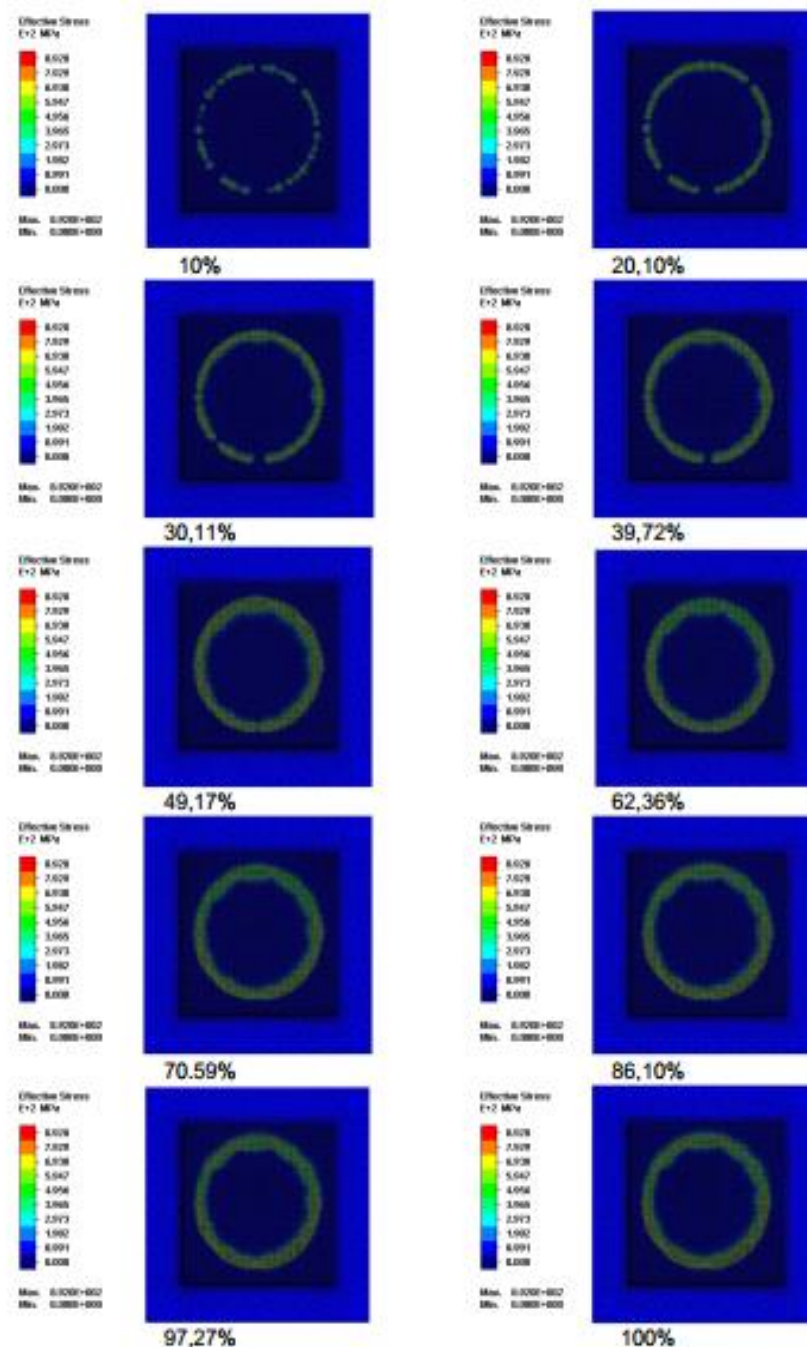
На слици 49 је приказан је модел контакта између елемента за стезање у облику кружног клина и радног предмета.



Слика 49. Модел контакта између елемента за стезање са челом у облику кружног клина и радног предмета [2]

Дејством силе стезања на елемент за стезање долази до локалних деформација по површини предмета обраде. У зони контакта настају Вон Мизесови напони који се мењају променом

величине силе стезања. На слици 50 су приказани резултати експеримента на коме се види промена Вон Мизесових напона са порастом силе стезања од 10% - 100%.

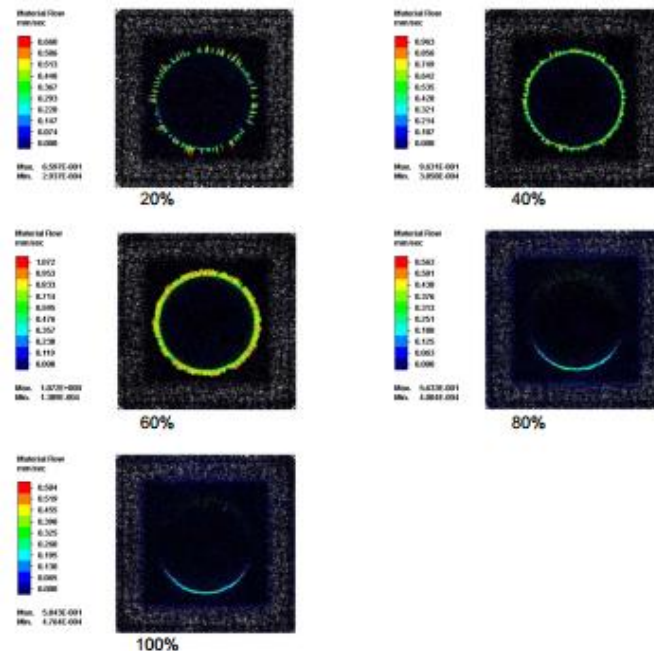


Слика 50. Вон Мизесови напони на нивоу 10%-100% утискивања елемената за стезање са челом у облику кружног клина [2]

На слици се може уочити да напони настају у околини врха чела кружног клина. Напони су сконцентрисани у околини врха чела кружног клина. Настали напони теже да доформишу

површину предмета обраде. Порастом силе до одређеног нивоа почиње течење материјала у површинским слојевима предмета обраде.

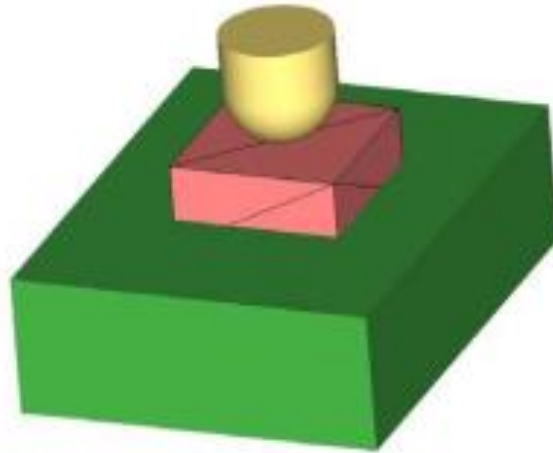
На слици 51 су приказани резултати експеримента који приказују промене брзине течења материја у оптерећеним зонама при различитим величинама тангенцијалних оптерећења.



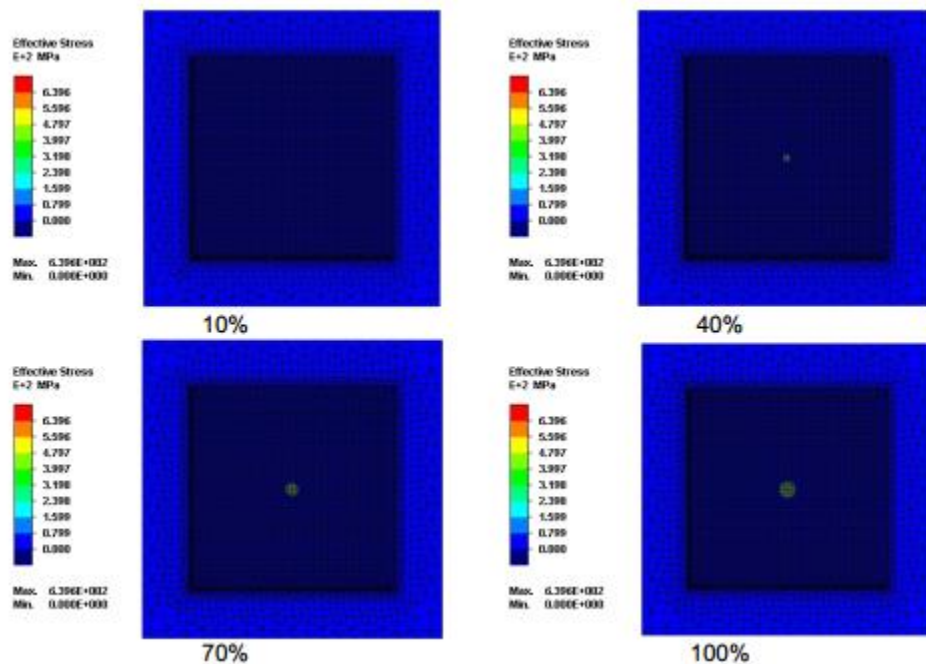
Слика 51. Течење материјала при 20%-100% тангенцијалног оптерећења [2]

4.2.2. Моделовање контакта између елемента за стезање са сферичним челом и предмета обраде

Модел контакта елемента за стезање са сферичним челом и предмета обраде приказан је на слици 52. Контактна површина се у овом случају значајно разликује од случаја стезања елементом са кружним клином. Контактна површина у датом случају у површинској равни предмета обраде има облик пуног круга.

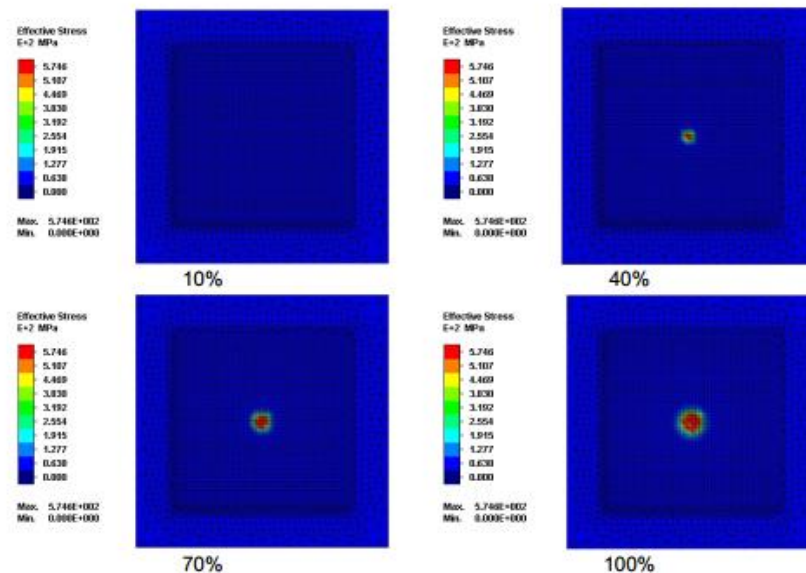


Слика 52. Модел контакта између елемената за стезање са сферичним челом и радног предмета [2]



Слика 53. Вон Мизесови напони на нивоу 10%-100% утискивања елемената за стезање са сферичним челом са радијусом од $R=10\text{ mm}$ [2]

Нивои Вон Мизесових напона добијених експериментом са елементом за стезање са сферичним челом са радијусом врха $R=10\text{ mm}$ дати су на слици 53. Може се уочити да су напони сконцентрисани у околини једне тачке. То се посебно види при мањем дејству силе стезања, што указује на то да је површина која се деформише мала, у широј околини тачке.

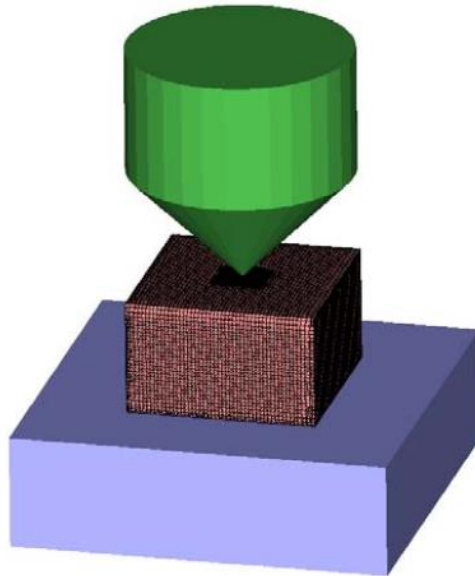


Слика 54. Вон Мизесови напони на нивоу 10%-100% утискивања елемената за стезање са сферичним челом са радијусом од $R=60 \text{ mm}$ [2]

Повећањем радијуса чела стезног елемента са сферичном главом са $R=10 \text{ mm}$ на $R=60 \text{ mm}$ не долази до значајнијег повећања Вон Мизесових напона у зони контакта. Са слике 54 се може закључити да се након повећања радијуса чела стезног елемента за 6 пута површина контакта као ни вредност Вон Мизесових напона не мења пропорционално.

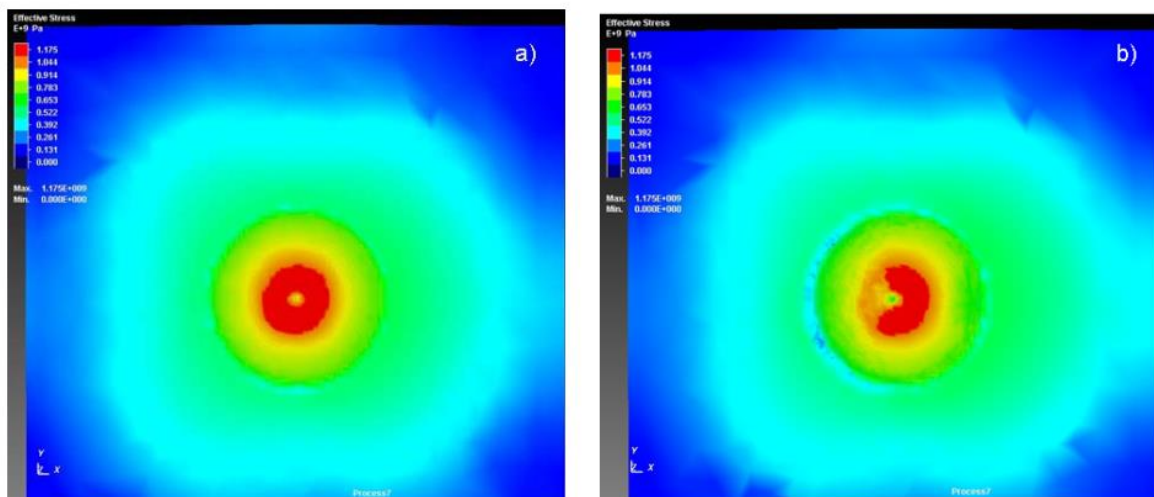
4.2.3. Моделовање контакта између елемента за стезање са челом у облику купе и радног предмета

На слици 55 је приказан модел контакта елемента за стезање са челом у облику купе и предмета обраде. У датом експерименту учествује елемент за стезање у облику купе са углом врха од 90° који продире у радни комад до дубине од $1,621 \text{ mm}$.



Слика 55. Модел контакта између елемента за стезање са челом у облику купе и радног предмета [2]

Расподела Вон Мизесових напона по површини предмета обраде при контакту са стезним елементом облика купе дата је на слици 56. Може се закључити да су напони концентрисани у околини тачке коју притиска врх купе. Напони у околини те тачке су знатно виши у односу на сличну тачку која настаје при стезању елементом са сферичним челом.

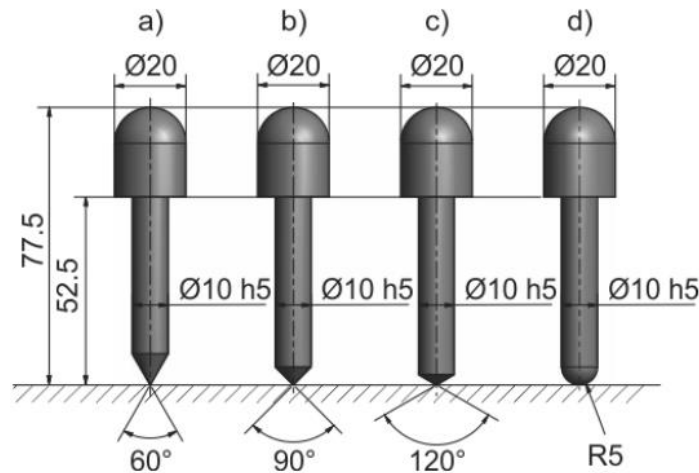


Слика 56. Напонска поља у зони контакта за стезање са челом у облику купе и радног предмета [4]

4.2.4. Нумеричка анализа контакта између специјалних елемената за стезање и предмета обраде

Да би се одредило који је од специјалних елемената најбољи у контакту са предметом обраде са аспекта носивости споја неопходно је извести FEM симулације у експерименталним условима. Експерименту су подвргнута четири специјална елемента за стезање [2]:

- са челом у облику купе и углом врха од 60° ,
- са челом у облику купе и углом врха од 90° ,
- са челом у облику купе и углом врха од 120° ,
- са сферичним челом $R=5\text{ mm}$.



Слика 57. Геометрије елемената за стезање [2]

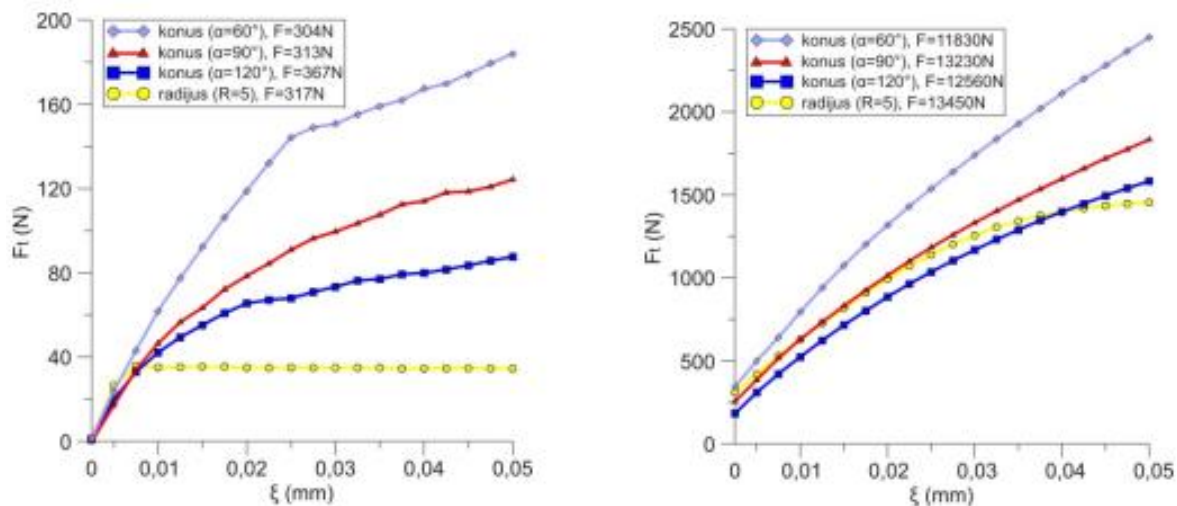
Експериментално добијени резултати се односе на вредности тангенцијалне силе и вредности попустљивости који су добијени при различитим дубинама утискивања, односно при различитим вредностима сила стезања.

Статистичком обрадом резултата добијених нумеричким прорачунима формиране су регресионе једначине које описују зависности тангенцијалне силе од попустљивости споја и силе стезања за све анализиране геометрије стезних елемената. Регресионе једначине и одговарајући коефицијенти корелације R приказани су у табели 1.

Element za stezanje	Regresione jednačine	R
sa čelom u obliku kupe i uglom vrha od 60°	$F_t = -7549,79 \cdot \xi - 0,038408 \cdot F_c - 224,794 \cdot \xi^{2900,793} + 120,6099 \cdot (\xi \cdot F_c)^{1/2}$	0,976
sa čelom u obliku kupe i uglom vrha od 90°	$F_t = -6800,32 \cdot \xi - 0,019892 \cdot F_c - 1106,59 \cdot \xi^{403,1061} + 92,43569 \cdot (\xi \cdot F_c)^{1/2}$	0,980
sa čelom u obliku kupe i uglom vrha od 120°	$F_t = -9,2983 \cdot \xi - 0,03149 \cdot F_c - 227,228 \cdot \xi^{0,073591} + 70,74752 \cdot (\xi \cdot F_c)^{1/2}$	0,991
sa sferičnim čelom R = 5 mm	$F_t = -4444,95 \cdot \xi + 0,008408 \cdot F_c - 15,256 \cdot \xi^{-0,442781} + 75,06031 \cdot (\xi \cdot F_c)^{1/2}$	0,988

Табела 1. Регресионе једначине и одговарајући коефицијенти корелације добијени обрадом нумеричких података [2]

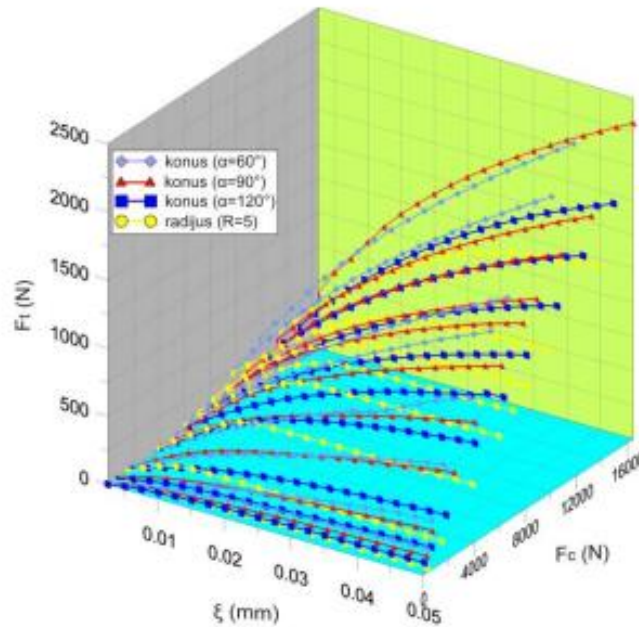
На слици 58 су приказане зависности аксијале силе од попустљивости споја за случај утискивања са елементима за стежање са различитим облицима чела. Ове зависности су дате за два случаја, први случај (лево) се односи на зависност тангенцијалне силе од попустљивости при малим вредностима силе стежања, други случај (десно) се односи на зависност тангенцијалне силе од попустљивости при великим вредностима сила стежања.



Слика 58. Зависност тангенцијалне силе од попустљивости [4]

На основу зависности тангенцијалне силе од попустљивости споја при малим вредностима силе стежања се може закључити да сви елементи за стежање са челом у облику купе имају изражену предност у односу на елемент за стежање са сферичним челом при стежању. Предност је израженија када је угао конусног завршетка елемента за стежање мањи [4].

Такође се на основу зависности тангенцијалне силе од попустљивости у домену високих вредности сила стезања може закључити да су елементи за стезање са челом у облику купе са углом конусног завршетка од 60° и 90° у предности са аспекта носивости споја са предметом обраде у односу на елемент за стезање у облику купе са углом завршетка конуса од 120° и елемента за стезање са сферичним челом [4].

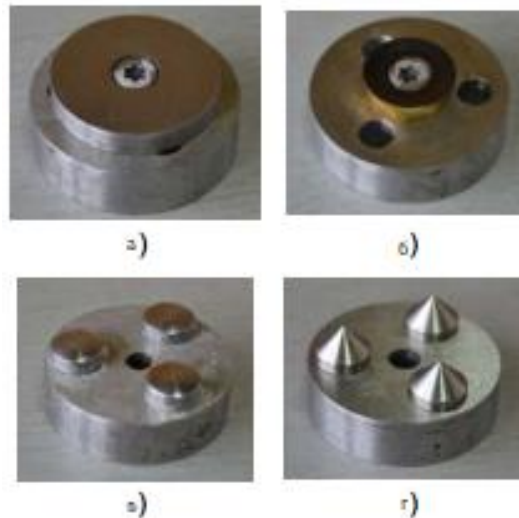


Слика 59. Зависност тангенцијалне силе од попустљивости и силе стезања за различите геометрије чела елемената за стезање [4]

На слици 59 је дат 3D дијаграм резултата FЕМ анализе који приказује зависност тангенцијалне силе од попустљивости и силе стезања за четири елемента за стезање са различитим обликом чела.

5. Експериментално истраживање носивости и попустљивости контакта између елемената прибора и предмета обраде

При извођењу овог експеримента коришћено је више типова елемената за стезање: елементи за стезање са равним челом, елементи за стезање са челом у облику кружног клина, елементи за стезање са сферичним челом и елементи за стезање са челом у облику купе. Експеримент се изводи на два начина, у условима статичких оптерећења и у условима динамичких оптерећења.



Слика 60. Елементи за стезање [2]

Елементи за стезање са равним челом су израђени од челик 16MnCr5 тврдоће 56 HRC. Храпавост контактних површина елемената за стезање одређена је параметром храпавости $R_a = 0.37-0.39 \mu m$. Ова врста елемената је за експеримент израђена у три различите величине, са пречником чела од $\varnothing 16 \text{ mm}$, $\varnothing 22 \text{ mm}$ и $\varnothing 28 \text{ mm}$ [5].

Стезни елементи са челом у облику кружног клина се израђују од тврдог метала P20. Овај елемент за стезање је израђен у једној варијанти, пречника $\varnothing 16 \text{ mm}$ [5].

Стезни елемент са сферичним челом је израђен у три варијанте, са радијусом врха од $R = 10 \text{ mm}$, $R = 30 \text{ mm}$ и $R = 60 \text{ mm}$. Материјал од кога се израђују ови елементи је 16MnCr5 чија је тврдоћа 56HRC. Све три варијанте елемента су брушене, део елемента предвиђен за стезање има вредност храпавости од $R_a = 0,8-1 \mu m$ [5].

Елементи за стезање са челом у облику купе су израђени од брзорезног челика HS18-0-1 чија је тврдоћа 64 HRC. Израђени су у три варијанте, и то са углом врха купе од 60° , 90° и 120° . Храпавост обрађених површина одређена је параметром храпавости $R_a = 0,8-1 \mu m$ [5].

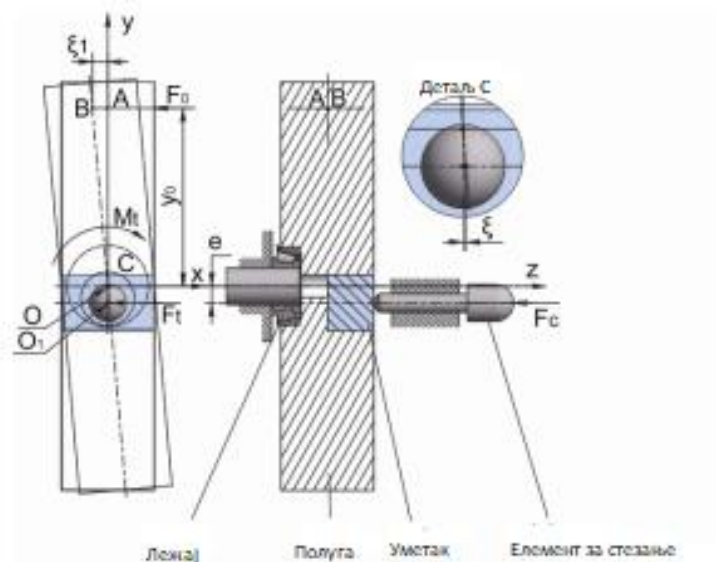
Предмети обраде су призматичног облика и израђени су од челика C45E у жареном стању чија је затезна чврстоћа 710 МПа и тврдоћа 208 НВ [5].

5.1. Мерна инструментација коришћена у условима статичких оптерећења

У извођењу експеримената у условима статичких оптерећења је коришћена следећа мерна инструментација [8]:

-специјално пројектовани уређај чија је шема функционисања дата на слици 61. Уређај функционише механички. Преко полужних механизма и баждарених тегова омогућава се стезање радног предмета елементима за стезање одређеним вредностима сила стезања, и праћење попустљивости.

-компаратори-индикатори померања који раде са тачношћу читавања од 0,01 mm.



Слика 61. Шематски приказ мерне инструментације за мерење носивости и попустљивости контакта у условима статичких оптерећења [8]

Полуга по оси која пролази кроз тежиште маса – x оса улежиштена је радијално аксијалним лежајем. Постредством овог лежаја је омогућено обртање мерне полуге око тачке O у равни x - y силом стезања се остварује контакт елемената за стезање са уметком који симулира предмет обраде. У тачки O_1 се врши стезање, правац силе стезања пролази кроз ту тачку. Тачка O_1 је померена у односу на осу обртања у правцу y осе за величину e . Сила стезања се обезбеђује преко специјално пројектованог полужног механизма и тегова. Након стезања се на мерну полуку у тачки A на одстојању y_0 од тачке обртања мерне полуге делује силом F_0 и прати померање. Сила F_0 се такође обезбеђује преко специјано пројектованог полужног механизма и тегова, и могуће је мењати њену вредност [8].

На основу геометријских односа и статичких услова равнотеже мерне полуге произилазе вредности носивости контакта F_t и попустљивости ξ_1 у тачки O_1 , односно попустљивост контакта у зони стезања.

На основу претходног следи [8]:

$$F_t = \frac{F_0 \cdot y_0 - M_t}{e}$$

$$\varepsilon \approx \frac{e}{y_0} \cdot \varepsilon_1$$

Где су:

- F_t – носивост контакта,
- F_0 – оптерећење контакта у тачки А,
- M_t – момент трења котрљања радијално-аксијалног лежаја,
- e – одстојање тачке стезања у односу на осу обртања мерне полуге,
- y_0 – одстојање од тачке дејства силе F_0 до осе обртања,
- ε – попустљивост контакта између елемената за стезање и узорка у тачки O_1 ,
- ε_1 – померање мерне полуге по оси x у тачки А.

На описани начин се за различите геометрије елемената за стезање и вредности силе стезања добија низ вредности сила F_t и померања ε .

Мерни уређај је пројектован као веома стабилан мерни систем. Све деформације се могу у односу на саму попустљивост контакта између елемената за стезање и радног предмета занемарити.

5.2. Резултати истраживања у условима статичких оптерећења

Експеримент је подељен у две групе, у којима се уочавају разлике између два типа елемената за стезање са различитим облицима чела. У првој групи се налазе елемент за стезање са равним челом и елемент за стезање са челом у облику кружног клина.

Елемент за стезање са равним челом је подвргнут експерименту из разлога што је он један од најзаступљенијих елемената за стезање. Елемент за стезање у облику кружног клина је специјално пројектовани елемент за стезање облика прстенастог клина. Разлог испитивања елемента за стезање са челом у облику кружног клина је претпоставка да ће он обезбедити мању попустљивост у односу на елемент за стезање са равним челом. Утискивање елемента за стезање са челом у облику кружног клина се одвија целим обимом истог. Важно је напоменути да тврдоћа овог елемента треба бити знатно виша од тврдоће предмета обраде у који се он утискује. Дубина утискивања елемента за стезање са челом у облику кружног клина зависи од величине силе стезања, а од дубине утискивања зависи попустљивост споја елемента за стезање са челом у облику кружног клина и предмета обраде.

Експериментом је обухваћено:

- варирање силе стезања у одређеном интервалу,

-варирање тангенцијалног оптерећења контакта између елемента за стезање и радног предмета,

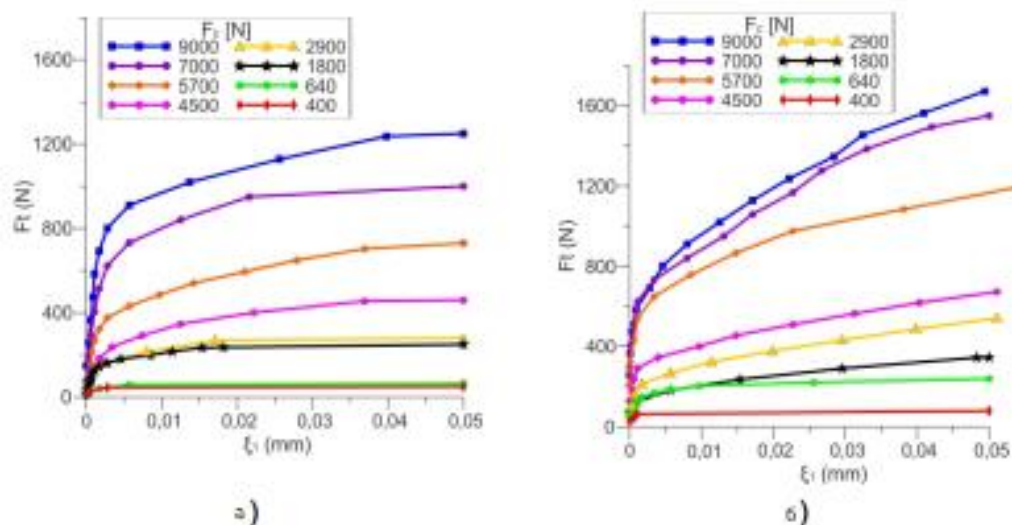
-праћење попустљивости споја које је изражено преко померања у зони контакта између елемента за стезање и предмета обраде.

Статистичком обрадом експерименталних резултата формиране су регресионе једначине које описују зависност тангенцијалне силе од силе стезања и попустљивости између елемента за стезање и предмета обраде.

Element za stezanje	Regresiona jednačina	R
sa čelom u obliku kružnog klina	$F_t = -94265,3 \cdot \xi + 0,042104 \cdot F_c + 99435,53 \cdot \xi^{1,052493} + 82,31460 \cdot (\xi \cdot F_c)^{1/2}$	0,970
sa ravnim čelom	$F_t = -8245,90 \cdot \xi + 0,035662 \cdot F_c - 52,9507 \cdot \xi^{0,000872} + 63,77113 \cdot (\xi \cdot F_c)^{1/2}$	0,946

Табела 2. Регресионе једначине зависности тангенцијалне силе од силе стезања и попустљивости контакта између елемената за стезање и радног предмета [2]

На основу резултата експерименталних истраживања (слика 62) произилази да се стезањем радног предмета преко елемената са стезање са челом у облику кружног клина добијају веће носивости контакта у односу на елементе за стезање са равним челом. Може се закључити да стезни елемент са челом у облику кружног клина има изражену предност у односу на елементе са равним челом у читавом интервалу оптерећења којима су у експерименту ови елементи подвргнути.



Слика 62. Зависности тангенцијалне силе од попустљивости контакта [2]

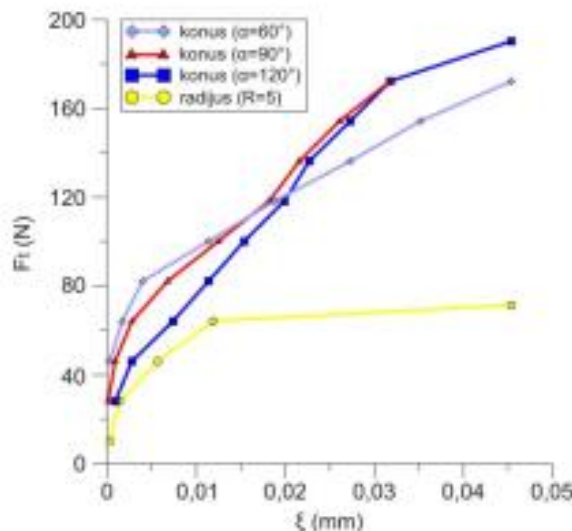
Други део експеримента у условима статичких оптерећења се односи на елементе за стежање са сферичним челом и елементе за стежање са челом у облику купе. У експерименту су коришћени елементи за стежање са сферичним челом чији је полупречник 5 mm и елементи за стежање са челом у облику купе са са угловима врха од 60°, 90° и 120°.

Статистичком обрадом резултата мерења добијају се регресионе једначине које описују зависност тангенцијалне силе од величине стежања и попустљивости за различите геометрије чела елемената за стежање.

Element za stezanje	Regresiona jednačina	R
sa čelom u obliku kupe $\alpha=60^\circ$	$F_t = -8022,812 \cdot \xi + 0,023212 \cdot F_c - 10750,3 \cdot \xi^{0,806709} + 95,13135 \cdot (\xi \cdot F_c)^{1/2}$	0,962
sa čelom u obliku kupe $\alpha=90^\circ$	$F_t = -4202,98 \cdot \xi + 0,054950 \cdot F_c - 4,38245 \cdot \xi^{0,485342} + 49,56835 \cdot (\xi \cdot F_c)^{1/2}$	0,913
sa čelom u obliku kupe $\alpha=120^\circ$	$F_t = 518,3731 \cdot \xi + 0,039458 \cdot F_c - 1,02334 \cdot \xi^{0,592816} + 37,25787 \cdot (\xi \cdot F_c)^{1/2}$	0,974
sa sferičnim čelom R=5 mm	$F_t = -213,146 \cdot \xi + 0,034558 \cdot F_c - 3,63106 \cdot \xi^{0,451858} + 34,39125 \cdot (\xi \cdot F_c)^{1/2}$	0,888

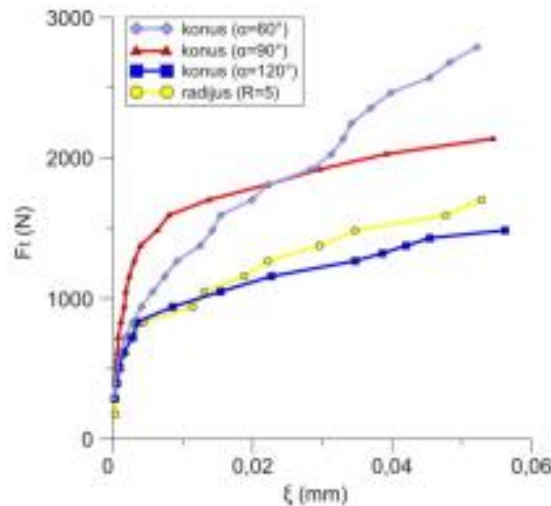
Табела 3. Регресионе једначине и коефицијенти корелације добијени статистичком обрадом експерименталних резултата [2]

На сликама 63 и 64 су приказане зависности тангенцијалних сила од попустљивости, на слици 63 је приказана зависност при нижим вредностима сила стежања, а на слици 64 при вишим вредностима сила стежања.



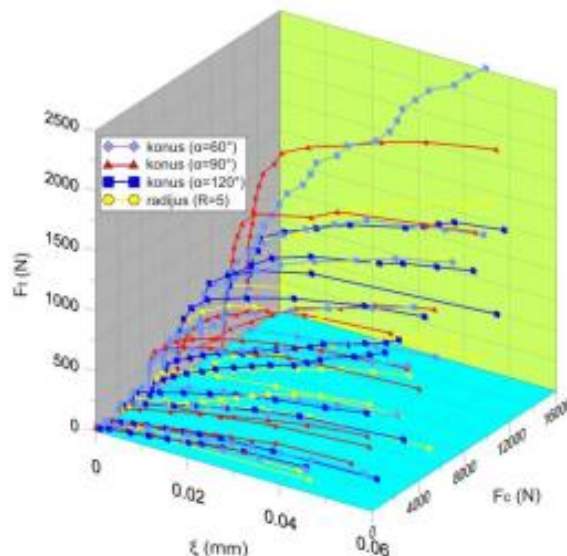
Слика 63. Зависност тангенцијалне силе од попустљивости споја при мањим силама стежања [2]

На основу слике 63 може се закључити да у домену нижих вредности сила стезања елементи са челом у облику купе показују знатне предности у читавом опсегу испитивања у односу на стезне елементе са сферичним челом.



Слика 64. Зависност тангенцијалне силе од попустљивости споја при већим силама стезања [2]

Са слике 64 може се доћи до закључка да су при високим вредностима сила стезања елементи за стезање са челом у облику купе и угловима врха од 60° и 90° у свим аспектима испитивања у предности у односу на елемент за стезање са челом у облику купе и углом при врху од 120° и елемента са сферичним челом.

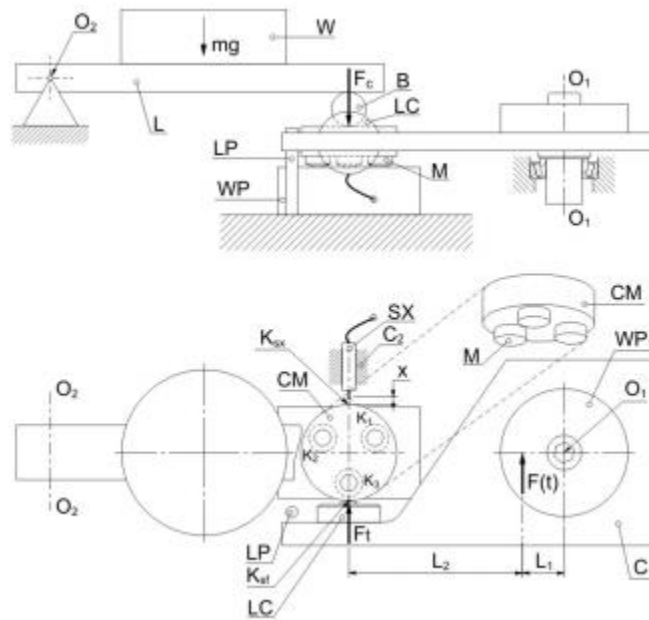


Слика 65. Зависност тангенцијалне силе од попустљивости и силе стезања за различите геометрије чела елемената за стезање [2]

На слици 65 је дат 3D дијаграм зависности тангенцијалне силе од силе стезања и попустљивости споја.

5.3. Мерна инструментација коришћена у условима динамичких оптерећења

Мерна инструментације пројектована за испитивање попустљивости контакта између елемената за стезање и предмета обраде у условима динамичких оптерећења приказана је на слици 66.



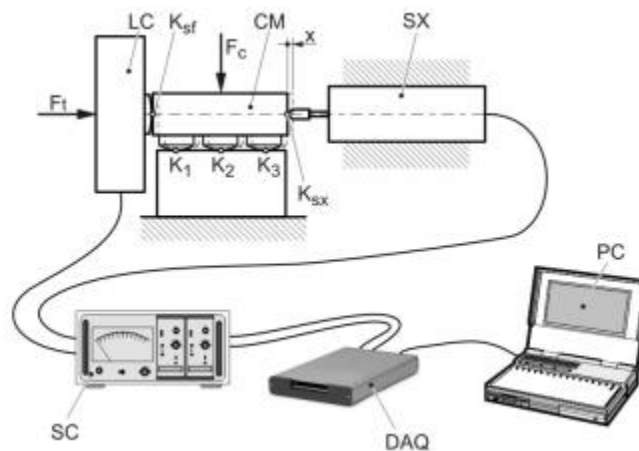
Слика 66. Шематски приказ мерне инструментације за мерење динамичке попустљивости контакта између елемената за стезање и радног предмета [5]

Узорак елемента за стезање M је причвршћен за носач CM и постављен је на узорак WP који симулира предмет обраде. Контакт ових узорака се остварује у околини тачака K_1 , K_2 и K_3 . Ослањање стезног елемента у три тачке обезбеђује равномерну расподелу оптерећења које елемент преноси на предмет обраде. Оптерећење контакта се обезбеђује преко носача CM и куглице B која преноси оптерећење од полужног механизма L и баждарених тегова W . Тангенцијално оптерећење контакта се остварује преко мерне ћелије осетљиве на притисну силу LC која је смештена на носачу C_1 на коме је причвршћен узорак који се обрађује WP_1 . Носач C_1 се може обртати око осе $O_1 - O_1$ [5].

У зависности од тачке дејства силе резања, односно величине L_1 и L_2 део силе резања се преноси преко мерне ћелије LC на носач CM у тачки K_{sf} . Померање носача CM и узорака M се региструје преко сензора померања SX који се налази у носачу C_2 . Приликом померања

узорка М који симулира елемент за стезање у односу на узорак WP који симулира радни предмет куглица В се котрља по носачу CM. Грешка мерења настаје као последица нерегистроване вредности силе трења котрљања куглице В по носачу CM и као последица трења котрљања у лежају полуге L [5].

С обзиром на значајно мање вредности коефицијената трења у односу на коефицијент трења клизања произилази да укупна грешка мерења не прелази 1%. При том треба нагласити да се при конструкцији уређаја водило рачуна да се ова грешка минимизује.



Слика 67. Пратећа мерна инструментација [2]

На слици 67 је приказана пратећа мерна инструментација коју чине:

- Мерна ћелија (LC) осетљива на притисну силу са мерним опсегом до 1100 N, која мери тангенцијалну силу пропорционалну сили резања;
- Индуктивног давача померања (SX) са мерним опсегом ± 1 mm и одступањем осетљивости мањим од ± 1 %;
- Двоканалног кондиционера сигнала (SC) који врши обраду сигнала мерне ћелије (LC) и индуктивног давача помераја (SX);
- Осмоканалног модула са симултаним семповањем са шеснаесто битном резолуцијом за аквизицију сигнала;
- Рачунар (PC) који управља модулом за аквизицију DAQ и чува резултате мерења у облику погодном за даљу обраду и анализу.

Предности које пружа развијена мерна инструментација се огледају у следећем [2]:

- Оптерећење контакта се врши реалном силом која настаје у процесу резања. Сила резања се може остварити обрадом глодањем или обрадом бушењем на узорку који је израђен од железног материјала. Параметри режима резања и резни алати са којима се изводи процес обраде могу се према потребама испитивања изабрати.

-Узорак који симулира елемент за стезање може бити било којих карактеристика у смислу геометрије, микрогеометрије и материјала. Исто то важи и за узорак који симулира радни предмет.

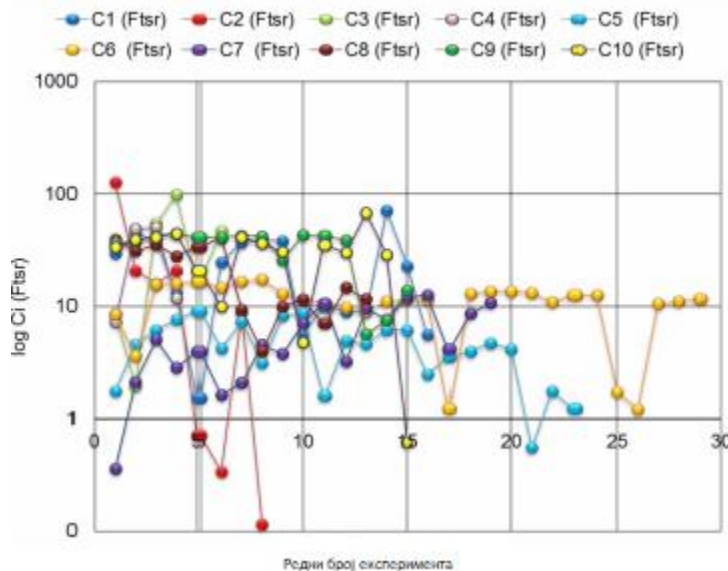
-Контактни парови су једноставног облика и неупоредиво ниже цене у односу на цену контактеног прибора, посебно ако се узме у обзир велики простор могућих варијација параметара утицајних на попустљивост контакта.

-Обрада се може изводити са или без примене средстава за хлађење и подмазивање.

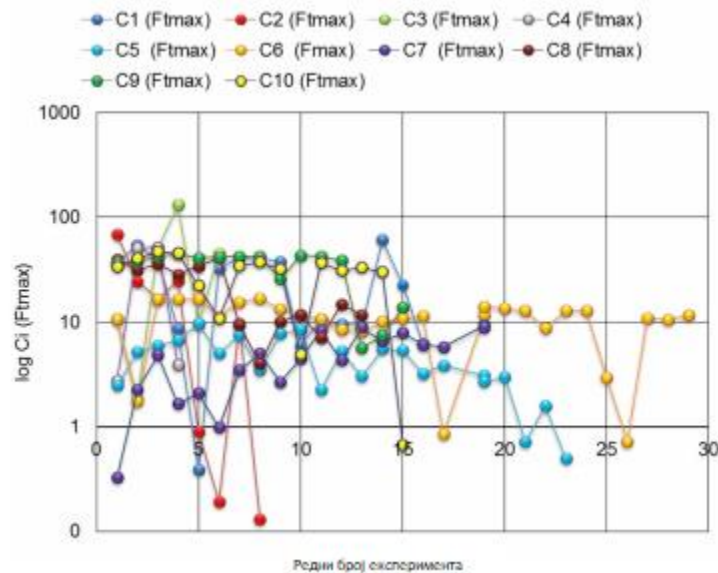
5.4. Резултати истраживања у условима динамичких оптерећења

Експериментом је обухваћено мерење носивости и попустљивости контакта између елемената за стезање са различитим геометријама чела и радног предмета. Силе стезања варирају у одређеном интервалу. При свакој вредности силе стезања машинском обрадом завојном бургијом симулирано је више динамичких тангенцијалних сила варирањем брзине помоћног кретања. Поменуте силе и њима одговарајућа померања праћена су посредством претходно описане мерне инструментације.

На сликама 68 и 69 су приказане зависности средње крутости контакта и средње максималне крутости контакта у функцији броја и услова експеримента. Индекси у ознакама крутости контакта односе се на следеће елементе: (1) – елемент за стезање са челом у облику кружног клина, (2) – елемент за стезање са равним челом - $\varnothing 16$, (3) – елемент за стезање са равним челом - $\varnothing 22$, (4) – елемент за стезање са равним челом - $\varnothing 28$, (5) – елемент за стезање са челом у облику купе – 60° , (6) – елемент за стезање са челом у облику купе – 90° , (7) – елемент за стезање са челом у облику купе – 120° , (8) – елемент са сферичним челом $R = 10 \text{ mm}$, (9) – елемент за стезање са сферичним челом – $R = 30 \text{ mm}$ и (10) – елемент са сферичним челом – $R = 60 \text{ mm}$.



Слика 68. Промена средње крутости контакта у функцији броја експеримента [2]



Слика 69. Промена средње максималне крутости контакта у функцији броја експеримента [2]

На основу претходно приказаних слика могу се извести следећи закључци [2]:

-Елемент за стезање са челом у облику кружног клина у односу на елементе за стезање са равним челом обезбеђује знатно већу динамику постојаност контакта.

-Елемент за стезање са челом у облику купе са углом врха од 90° у односу на елементе за стезање са челом у облику купе и углом врха од 60° и 120° и елемент за стезање са челом у облику кружног клина обезбеђује знатно већу динамичку постојаност контакта. Елемент са челом у облику кружног клина у одређеним условима обезбеђује веће вредности крутости.

-Елемент за стезање са сферичним челом са радијусом врха од 60 mm у односу на остале испитиване елементе за стезање са сферичним челом и елемент за стезање са челом у облику кружног клина обезбеђује знатно већу динамичку постојаност контакта.

-Елемент за стезање са челом у облику кружног клина у динамичким условима нижих оптерећења обезбеђује у односу на елементе за стезање са равним челом, елементе за стезање са челом у облику купе и елементе за стезање са сферичним челом највећу крутост и постојаност контакта.

6.0. Дискусија

На основу резултата експеримената којима су подвргнути елементи за стезање са различитим геометријама чела може се приметити да постоји знатна разлика величина носивости споја стезних елемената и предмета обраде.

Стезни елемент са равним челом приликом стезања не деформише у великој мери површину предмета обраде, али при истим условима сила стезања и резања пружа слабије резултате са аспекта носивости и попустљивости споја стезног елемента и предмета обраде у односу на остале стезне елементе. Због свог облика, елемент за стезање са равним челом је лакши и јефтинији за израду. Узимајући у обзир све чињенице везане за стезни елемент са равним челом може се закључити да због својих техничких карактеристика упркос ниској израдној цени не задовољава потребе савремене индустријске производње због немогућности да без значајније промене носивости споја између стезног елемента и предмета обраде прими силе резања које настају при великим брзинама резања.

Елемент за стезање са сферичним челом при истим силама стезања даје знатно више вредности носивости у односу на стезне елементе са равним челом. Већа носивост проистиче из другачије геометрије која доприноси лакшем деформисању површинског дела предмета обраде и због веће дубине продирања. Овај елемент поред наведених предности у односу на елемент за стезање са равним челом поседује и извесне мане. Највећа мана овог елемента за стезање је мали коофицијент трења. Због таквих особина може се догодити да дође до повећања попустљивости контакта између стезног елемента и предмета обраде током обрадног процеса због пораста брзина резања које условљавају веће силе. Израда овог стезног елемента је знатно сложенија и скупља од израде стезног елемента са равним челом. Примена оваквог елемента у индустријској производњи је ограничена због мале носивости, облик чела не одговара намени. Деформације су благе и распрострањене по целој површини контакта са предметом обраде, те због тога не долази до адекватног продирања чела стезног елемента у предмет обраде. Директна последица тога је мала носивост споја стезног елемента са сферичним челом и предмета обраде.

За разлику од претходна два стезна елемента, елемент за стезање са челом у облику кружог клина има знатно повољније особине. Наиме, површина предмета обраде која се деформише је знатно мања, али је дубина утискивања стезног елемента у предмет обраде знатно већа због повољније расподеле напона. Утискивањем елемента за стезање са челом у облику кружног клина у предмет обраде постиже се висок ниво носивости споја. Могу се примењивати знатно оштрији режими резања што је изузетно важно у савременој индустријској производњи. Израда оваквог стезног елемента је скупа, а због своје карактеристичне геометрије мора бити израђен од изузетно тврдог челика. Због наведених карактеристика, пре свега велике носивости споја између поменутог стезног елемента и предмета обраде, проистиче да се утискивањем стезног елемента са челом у облику кружног клина у предмет обраде могу постићи знатно бољи резултати обраде у односу на до сад поменуте елементе за стезање.

У свим испитивањима најбоље резултате је имао елемент за стезање са челом у облику купе. Повољни резултати произилазе из геометријских карактеристика купе. Купа својим челом

лакше продире у површинске слојеве предмета обраде, остварује бољи контакт са предметом обраде и тако повећава носивост споја. Угао врха купе значајно утиче на носивост контакта елемента за стезање са челом у облику купе и предмета обраде. Најбоље се показао елемент за стезање са углом купе од 90° . Елементи за стезање са челом у облику купе и углом врха од 60° и 120° су по носивости споја са предметом обраде у предности у односу на остале стезне елементе, али не и у односу на стезни елемент у са челом у облику купе од 90° .

Савремену индустријску производњу карактеришу велике брзине резања, велика геометријска тачност предмета обраде и мали проценат шкарта. Да би то све било могуће потребан је адекватан стезни прибор помоћу кога ће бити могуће користити све карактеристике савремене индустријске производње.

Утискивање чела стезног елемента у површински део предмета обраде је могуће користити при обради предмета код којих естетски изглед није примаран, или при обради предмета код којих се површина стезања накнадно обрађује. То су најчешће делови добијени ливењем или ковањем, који су израђени у ширем толеранцијском опсегу, па утискивање чела стезног елемента у предмет обраде неће довести до функционалног оштећења предмета обраде. Примена утискивања чела стезног елемента у предмет обраде доприноси бољем искоришћењу карактеристика машина алатки које се користе. Такође, утискивање чела стезног елемента у предмет обраде је корисно при стезању делова код којих је површина стезања уједно и обрадна површина, те је површина за стезање ограничена. Специјални елементи за стезање, нарочито елементи за стезање са челом у облику купе приликом стезања не заузимају велику површину, па је могућа и обрада стезне површине. То је нарочито погодно при обради на нумеричким машинама са измењивим алатима, у операцијама које се састоје из више захвата. Могуће је груписати више захвата у једну операцију, што стезни прибор чини сложенијим, али су у том случају припремна времена знатно краћа. Економски гледано, у већим серијама је изузетно повољно користити метод свесног утискивања чела стезног елемента у предмет обраде у ситуацијама када је то могуће. Трошкови израде прибора расту са порастом захвата у операцији, али се на је на основу уштеда у времену обраде исплативо.

Закључак

Формирање стезног прибора је најважнији део процеса пројектовања технологије обраде, јер тада концепцијско решење добија технолошки, естетски и најважније економски приказ. У процесу формирања стезног прибора је неопходно користити листу захтева који су прописани за дати прибор, почев од функционалних преко сигурносних до економских. Приликом формирања стезног прибора треба тежити да он буде што једноставнији због лакше израде, као и због једноставнијег коришћења. Стезни прибор треба да се састоји из што више стандардних елемената због лакшег одржавања и ниже цене.

Базирање елемената треба да буде изведено тако да се конструкционе и технолошке базе свих кота поклапају да геометријска тачност не би зависила од стезног прибора. Задржавање предмета обраде у жељеном положају током целог прецеса обраде је кључно за успешност процеса, тачност мера и безбедност. Сила стезања треба да буде оптимална, да задржи предмет обраде у предвиђеној позицији, али да га не оштети.

Други приступ стезања је заснован на свесном утискивању чела стезног елемента у предмет обраде чиме се постиже већа носивост споја стезног елемента и предмета обраде. Овакав поступак се примењује на предмете обраде код којих естетски изглед нема примарну вредност. Вредност носивости и попустљивости споја елемента за стезање и предмета обраде зависи од облика чела стезног елемента. Из анализе експеримената којима су подвргнути стезни елементи са различитим геометријама чела у условима статичких и динамичких оптерећења долази се до закључка да елементи са челом у облику купе и елементи са челом у облику кружног клина обезбеђују знатно веће вредности носивости споја у односу на стезне елементе са равним и сферичним челом.

Литература

- [1] Тадић, Б., Вукелић, Ђ., Јурковић, З: Алати и Прибори, Универзитет у Крагујевцу, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2013.
- [2] Миљанић, Д.: Пројектовање елемената прибора са аспекта носивости и попустљивости њихових контактних површина, Нови Сад, 2015.
- [3] Тодоровић, П., Тадић, Б., Вукелић, Ђ., Јеремић, М., Ранђеловић, С., Николић, Р., Analysis of the influence of loading and the plasticity index on variations in surface roughness between two flat surfaces, Tribology International, Vol.81, No.1, pp. 276-282, ISSN 0301-679, Doi
- [4] Тадић, Б., Јеремић, Б., Тодоровић, П., Вукелић, Ђ., Просо, У., Мандић, В., Будак, И., Efficient Workpiece Clamping by Indenting Cone-shaped Elements, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol.13, No.10, pp. 1725-1735, ISSN -, Doi 10.1007/s12541-012-0227-8, 2012
- [5] Тадић, Б., Вукелић, Ђ., Миљанић, Д., Богдановић, Б., Мачужић, И., Будак, И., Тодоровић, П., Model testing of fixture-workpiece interface compliance in dynamic conditions, Journal of Manufacturing Systems, Vol.33, No.1, pp. 76-83, ISSN 0278-6125, Doi 10.1016/j.jmsy.2013.05.004, 2014
- [6] Тадић, Б., Богдановић, Б., Јеремић, Б., Тодоровић, П., Лужанин, О., Будак, И., Вукелић, Ђ, Locating and clamping of complex geometry workpieces with skewed holes in multiple-constraint conditions, Assembly Automation, Vol.33, No.4, pp. 386-400, ISSN 0144-5154, 2013
- [7] Todorović P., Vukelić Đ., Tadić B., Veljković D., Budak I., Mačuzić I., Lalić B., Modelling of dynamic compliance of fixture/workpiece interface, International Journal of Simulation Modelling, Vol.13, No.1, pp. 54-65, ISSN 1726-4529, Doi 10.2507/IJSIMM13(1)5.254, 2014
- [8] Vukelić Đ., Tadić B., Miljanić D., Budak I., Todorović P., Randelović S., Jeremić B., Novel workpiece clamping method for increased machining performance, Tehnicki vjesnik - Technical Gazette, Vol.19, No.4, pp. 827-846, ISSN 1330-3651, 2012
- [9] Тадић, Б.: Обрадни процеси и специјалне машине и уређаји, Крагујевац, Машински факултет, 2006.
- [10] Тадић, Б.: Специјални стезни прибори, Крагујевац, Машински факултет, 2006.
- [11] Шолаја, В.: Помоћни прибори, Машински факултет, Београд, 1995.
- [12] Вукелја, Д.: Конструкција и прорачун помоћних прибора, Машински факултет, Крагујевац, 1978.
-