

3.5. ПАРАМЕТАРСКО МОДЕЛИРАЊЕ

3.5.1. Карактеристики на параметарското моделирање

Најголем проблем со системите за моделирање на цврсти тела е што нема едноставен начин за менување на моделот. Поради тоа, примената на моделерите на цврсти тела е сведена на едноставни модели.

Менувањето и дополнувањето на конструкцијата е фундаментален аспект на процесот на конструирањето, бидејќи конструкторот постојано вградува нови елементи во моделот, но и се навраќа и ги менува претходно моделираните елементи. Во задните десетина години се применуваат *параметарските системи за моделирање* (параметарски моделери) кои овозможуваат флексибилно моделирање. Кај параметарските системи за моделирање, централна улога има просторниот *параметарски модел*, кој може едноставно да се менува со што може да се направат различни варијанти на моделот. Просторното параметарско моделирање на производот овозможува низа предности:

- Со параметарските системи за моделирање од новата генерација може флексибилно да се дополнува и менува геометријата на деловите и склоповите.
- Покрај геометријата, кај параметарските модели на деловите се помнат и сите важни релации помеѓу елементите од моделот. Тоа овозможува да се запомнат функционалните зависности помеѓу елементите, односно идејата на конструкторот.
- Се помнат, запазуваат и прикажуваат допирите помеѓу деловите во склоп.
- Се помни и прикажува хиерархиската структура на склопот, односно поделбата на потсклопови.
- Конструктивната документација, односно склопните, монтажните и работилничките цртежи, се формираат автоматски и ги следат промените направени кај моделите на деловите или склопот.
- Во параметарски модел на дел едноставно се вградуваат параметарски скулптурни површини.
- Едноставно се формираат фамилии од делови и фамилии од склопови, чии мери се бираат според табели.
- Едноставно се формираат нови параметарски примитиви, кои може да се запомнат во библиотека за повторна примена.
- Едноставно се вградуваат претходно дефинирани параметарски примитиви и делови.
- Покрај постојните методи на анализа (волуменски својства, задир, методот на конечни елементи, кинематска анализа и др.), кај параметарските модели едноставно да се применат нови методи за анализа на конструкцијата (проверка на интерференција при движење на деловите, проверка на сензитивноста на мерната шема, анализа на толеранции).

Пакетите за параметарско моделирање како што се: Solid Works, Catia, ProEngineer, I-DEAS, Iron CAD, Solid Edge, Mechanical Desktop и др., нудат многу нови можности за релативно ниска цена. Со овие софтверски пакети конструкторот може повеќе пати да го менува и дополнува моделот на производот и на крајот може автоматски да ја подготви целокупна конструктивна и технолошка документација.

Една од предностите на параметарските модели е што *може да се применат во сите фази на процесот на конструирањето*, од стадиумот на идеја за конструкцијата - кога геометријата се претставува со скици, низ фазите на разработка на конструкцијата - кога се внесуваат мноштво информации и се анализираат различни варијанти на конструктивни решенија, па се до изработката на конструктивната документација - кога прецизно и во потполност се дооформува геометријата на деталите на конструкцијата. Тоа се должи на можноста за независно дефинирање на топологијата и геометрија, како и можноста да се дефинираат само оние односи помеѓу геометриските елементи кои се познати во моментот. Со тоа му се овозможува на конструкторот да го одложи внесувањето на точните димензии до моментот кога има доволно сознанија тоа да го стори. Поради тоа, во раните фази на процесот на конструирањето конструкторот може да се концентрира на изработка на концептот на конструкцијата и дефинирање на односите помеѓу елементите.

Друга предност на параметарските модели е *едноставноста на менување на моделот*. Вредностите на поедини параметри едноставно се менуваат, параметрите можат да се избришат и заменат со други параметри и сл. Моделот автоматски се менува според новите параметри. Системот го информира корисникот дали моделот е целосно ограничен со зададените параметри, колку ограничувања недостасуваат или ако се зададени конфликтни ограничувања.

Изработката на работилничките цртежи кај параметарските моделери е автоматизирана. Проециите и пресеците на делот се добиваат автоматски при што постоечките параметри се претставуваат како коти во соодветните проекции. *Врската помеѓу моделот на делот и неговиот работилнички цртеж е директна и двонасочна*. При корекција на моделот автоматски се менува работилничкиот цртеж и обратно, при промена во една проекција на работилничкиот цртеж автоматски се менуваат другите проекции и моделот на делот.

3.5.2. Градба на параметарските моделери

Системите за параметарско моделирање (сл. 3.23) се базирани на два основни модула и тоа: *моделер на цврсти тела и систем за решавање на ограничувања*. Моделерот на цврсти тела и системот за решавање на ограничувањата се независни производи. Повеќето CAD-системи се базирани на моделерот за цврсти тела ACIS® производ на фирмата SPARIAL TECHNOLOGY, INC. Овој моделер го применува претставувањето на цврстите тела со обвивка и ги содржи алгоритмите за преработка и контрола на на геометријата. Најчесто користен систем за решавање на ограничувања е DCM-3D на фирмата D-Cubed Ltd. Во овој систем структурата на моделот е претставена како графо. Јазлите на овој граф се покажувачи (поинтери) на геометриските елементи од моделот, а гранките на графот се релациите на ограничувања. Според зададените ограничувања, системот за решавање на ограничувањата ја пресметува новата положба на геометриските елементи во простор и проверува дали постојат ограничувања кои се во конфликт.

Параметарскиот моделер ги користи процедурите од моделерот на цврсти тела и системот за решавање на ограничувања, како и свои сопствени процедури, кои овозможуваат комуникација со корисникот при дефинирање на моделот,

едноставна изградба на моделот и делумна автоматизација на процесот на моделирањето.

Квалитетот на системот за моделирање зависи и од разновидноста на можностите кои му ги нуди системот на конструкторот. Тука спаѓаат библиотеките на примитиви и стандардни делови, како и програмите кои го прилагодуваат системот кон производната програма на претпријатието. Моделерите кои се применуваат за општо машинство содржат како опрема обично библиотеки на стандардни елементи за врска и стандардни челични профили, пресметка и избор на лежишта, и статички пресметки, програм за моделирање на делови од лим, програм за моделирање на цевководи и сл. Моделерите наменети за дизајн на автомобили или други видови аеродинамични облици содржат напредни функции за моделирање на просторни површини и програм за анализа на струења на флуиди. Моделерите наменети за челични конструкции содржат богата библиотека на профили, автоматски прилагодливи врски со завртки, заварени врски, врски со заковици, врски со батон, потпрограми за едноставно моделирање на скали и огради, решеткасти носачи и столбови и сл.

Збогатување на околината на конструкторот во повово време се постигнува и со поедноставување на пристапот кон информациите на Интернет. Моделерите нудат погодности за тимска работа, едноставна комуникацијата помеѓу членовите од тимот, пребарувањето на разни каталози, размената на модели и цртежи и комуникација со клиентите преку Интернет.



Сл. 3.23. Структура на параметарски моделер

3.5.3. Видови параметарско моделирање

Развојот на техниките зголемување на способноста за интерактивна работа и погодностите за менување на моделите започнува кон крајот на 1980-тите, кога веќе целосно се разработени техниките на 3Д моделирање на цврсти тела и сложени површини. Во смисла на зборот како што го подразбираме денес, параметарското моделирање за првпат е изложено во трудовите на Gossard и Light во 1981 година.

Терминот *параметарско моделирање* означува примена на релации на ограничувања при дефинирање на модел на дел или склоп. Системите за параметарско моделирање покрај геометријата, ги помнат како засебна структура релациите помеѓу геометриските елементи.

Се издвоиле неколку различни пристапи кон параметарското моделирање и тоа:

1. *со непроменлив редослед на решавање*, односно
 - процедурално параметарско моделирање,
2. *со променлив редослед на решавање*, кој се дели поматаму на
 - структурно параметарско моделирање,
 - варијациско параметарско моделирање
 - експертно параметарско моделирање.

Процедурално параметарско моделирање

Наједноставните системи кои овозможуваат еден вид параметарско моделирање работат така што *го помнаат редоследот на наредбите зададени при моделирањето во вид на процедура*. За да се направи промена на некој од параметрите на моделот, се повторува постапката користена при формирањето на моделот и притоа се задаваат нови вредности на некои од постоечките параметри. Така се добиваат нови варијанти, односно фамилија облици од ист вид. За реализација на овој пристап може да се примени програмски јазик како што е AutoLisp и така може да се состави библиотека на макроа. Макроата се процедури кои содржат определен дијалог преку кој се внесуваат вредностите на променливите според кои се формира нова варијанта на моделот. Макроата можат да содржат и логички изрази со кои се прави проверка дали внесените вредности на параметрите се во интервалот на дозволените вредности.

Бидејќи редоследот на извршување на наредбите е непроменлив, овие модели се параметарски во една насока, односно *процедурални*. Овие модели се едноставни за примена, но со нив можат да се прават само мали промени на моделот. Единствено што може да се направи е да се избрише стариот и да се внесе нов облик со други податоци. Непроменливиот редослед на извршување го оневозможува менувањето на зависностите помеѓу променливите. Тоа го прави моделот недоволно флексибилен и тежок за менување.

Сериозен недостаток на овој пристап е што бројот на променливите кои можат да се применат е практично многу ограничен. Проблемот е во тоа што не постои општ начин за контрола на внесените вредности на параметрите и затоа можат да се добијат несакани резултати. И покрај своите недостатоци, овој метод често се користи за моделирање пред сè на стандардни делови чии вредности се бираат според каталог (на пр. клин, завртка, лежиште и др.).

Структурирано параметарско моделирање

Поради проблемите со претходниот вид параметарски системи, кај структурните и кај варијациските параметарски системи се применува општа процедура која не зависи од редоследот на операциите при моделирањето. Овие системи применуваат некој вид на независно претставување на ограничувањата, како на пример граф или логички формули. Преку графот се помнат вградените елементи, нивниот редослед и вградените ограничувања помеѓу елементите од моделот. За да се извршат промени на моделот се менуваат прво соодветните ограничувања, а потоа се применува општ алгоритам за решавање на равенките на ограничувањата.

Основна разлика помеѓу структурните и варијациските системи е во видот на алгоритмот за решавање на равенките на ограничувањата кој го користи системот. *Структурните параметарски системи* ги решаваат равенките на ограничувањата така што вредностите на променливите ги одредуваат една по

друга, односно секоја наредна променлива се пресметува земајќи ги предвид вредностите на претходно одредените променливи. Редоследот по кој се решаваат равенките на ограничувањата зависи од структурата на моделот и применетиот алгоритам за решавање на равенките на ограничувањата.

Овој метод се нарекува уште конструктивно параметарско моделирање, бидејќи редоследот на градбата на моделот зависи директно од корисникот. Моделот е целосно ограничен кога степените на слобода на сите негови елементи се нула. При вградување на ново ограничување во моделот или при промена на постоечко, се проверува дали тоа е во согласност со останатите ограничувања и тоа: 1) дали доаѓа до преограниченост на моделот и 2) дали вредноста на ограничувањето резултира во невозможна геометрија. Ако промената е прифатлива, автоматски се внесува во графоот на структурата и моделот се преработува соодветно на внесеното ограничување. При менување на моделот се преработува само еден дел од геометријата и притоа се запазуваат претходно внесените ограничувања помеѓу геометриските елементи.

Кај овој вид параметарско моделирање контролата на геометријата ја врши системот и не може да се формираат несакани варијанти. Решавањето на ограничувањата е брзо и прецизно, но проблеми се јавуваат при решавање на земно зависни ограничувања.

Варијациско параметарско моделирање

При *варијациското параметарско моделирање*, ограничувањата се претставуваат во вид на равенки и системот се обидува да ги реши сите равенки наеднаш со помош на нумерички алгоритам. Предност на овие системи е што не зависат од редоследот на внесувањето на ограничувањата и што можат да ги решат и најсложените заемно зависни ограничувања.

Преку внесените геометриски ограничувања системот ги пресметува положбите на темињата од моделот во простор. За ограничување на модел со N темиња се потребни $3N$ равенки на ограничувања со $3N$ променливи. Иако постојат методи за побрзо решавање на поедноставните равенки и за упростување на системот, сепак промените на моделот се одвиваат бавно и потребни се моќни компјутери. Кај варијациските системи, проблеми се јавуваат и кај нецелосно ограничените модели (повеќе променливи отколку равенки), а има проблеми и со откривање на противречните ограничувања.

Новите параметарски системи се комбинација од секвенционалните и варијацијските. Затоа кај поновите системи за моделирање се применуваат *хибридни (комбинирани) методи*, со кои ограничувањата се решаваат делумно секвенцијално, а делумно заедно.

Експертно параметарско моделирање

Ограничувањето на моделот може да се забрза со примена на експертен систем кој користи правила за ограничување на геометриските елементи. Геометриските ограничувања кај овие системи се претставуваат во облик на предикати во програмските јазици Prolog или Lisp. За проверка на ограничувањата се користат правила според кои се донесуваат заклучоци за валидноста на ограничувањето и се врши пресметка на координатите на точките од моделот. Овие системи се сеуште во фаза на истражување. Нивни недостатоци се: потребата за претствување на ограничувањата во вид на предикати, можноста за грешки, како и тешкотиите при проверка на целосната ограниченост на моделот.

3.5.4. Постапка на параметарското моделирање

При формирање на параметарски модел се користи следната постапка:

- 1) Корисникот ја дефинира *номиналната топологија* во вид на скица од која формира примитив со вообичаените методи на моделирање и го вградува во делот со Буловите операции. Како резултат се добива бараниот модел со соодветните геометриски елементи и поврзаноста помеѓу елементите, но без одредени димензии.
- 2) Корисникот потоа ги опишува бараните односи помеѓу елементите на моделот со помош на *геометриски ограничувања и параметарски мери*. Овие ограничувања го опишуваат саканиот геометриски однос помеѓу елементите на моделот (растојание, агол, паралелност итн.).
- 3) Системот за моделирање применува општа стратегија за решавање на равенките на ограничувањата, со што се добива модел кој ги задоволува ограничувањата (ако е можно). Ако не може да се најде решение кое го задоволува системот на зададените ограничувања, системот јавува предупредување (би требало) во кое се објаснува кои ограничувања се во конфликт.
- 4) Корисникот може да изработи различни *варијанти на моделот* со промена на вредностите на параметрите. По секоја промена се добива нов примерок на моделот, по повторно решавање на равенките на ограничувањата. Корисникот може да внесува нови ограничувања и да ги отстаранува постоечките.

3.5.5. Видови ограничувања

Како што е претходно напомнато, кај параметарските системи топологијата на телото може да се зададе без да се дефинира точната геометрија. Поради тоа, моделот на телото во почетокот има многу слободни параметри кои понатаму се определуваат преку задавање на ограничувања помеѓу геометриските елементи. Со ограничувањата се определува потребниот однос помеѓу геометриските елементи од моделот.

Ограничувањата можат да се класифицираат според: 1) видот, 2) димензионалноста и 3) бројот на геометриските елементи на кои се однесуваат.

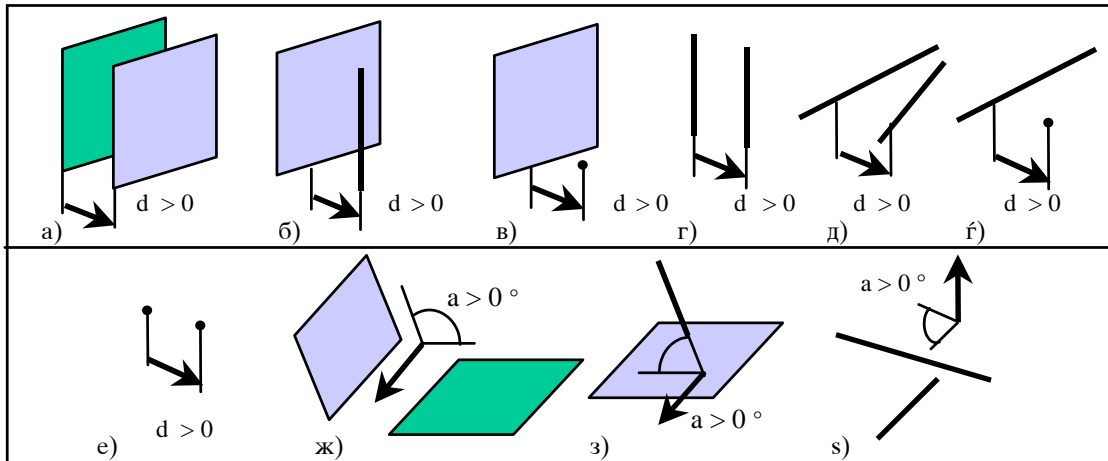
Поделба на ограничувањата според видот

Според видот, ограничувањата се делат најпрво на: *ограничувања за еден дел* и ограничувања *помеѓу делови во склоп*. Ограничувањата за еден дел се делат понатаму на параметарски мери и геометриски ограничувања.

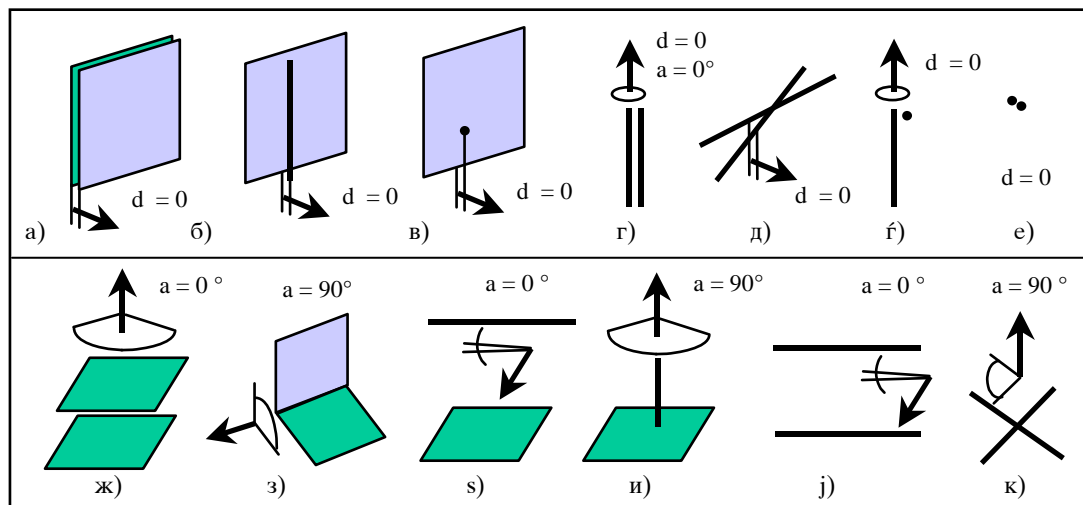
Параметарските мери се ненулни растојанија и агли помеѓу геометриски елементи. Со параметарска мера се ограничуваат степените на слобода на еден геометриски елемент во однос на друг геометриски елемент од истиот дел. На сл. 3.24 се претставени случаи на задавање на параметарска мера (растојание и агол) помеѓу рамнина, права и точка во простор.

Геометриските ограничувања се специјални случаи на агли или нулни растојанија помеѓу геометриски елементи. На сл. 3.25 се претставени случаи на геометриски ограничувања помеѓу рамнина, права и точка во простор. Геометриските ограничувања имаат посебни имиња, како на пр. за две рамнини

кои се на растојание 0 велиме дека се коинцидентни (а), за две ранини помеѓу кои аголот е 0° велиме дека се паралелни (ж), за две прави помеѓу кои растојанието е 0 велиме дека се пресечни (д), за две прави помеѓу кои аголот е 0° и растојанието е 0 велиме дека се колинеарни (г), две рамнини помеѓу кои аголот е 90° се нормални (з) и.т.н. Во геометриски ограничувања спаѓаат и ограничувањата кои се однесуваат на еден дел, како хоризонталност, вертикалност и неподвижност.



Сл. 3.24. Случаи на зададено растојание или агол помеѓу точка, права и рамнина во простор



Сл.3.25. Специјални случаи на растојание или агол меѓу точка, права и рамнина

Ограничувањата кои се задаваат помеѓу геометриски елементи од различни делови имаат за цел да ги позиционираат деловите еден во однос на друг во простор. Овие ограничувања се задаваат всушност помеѓу две множества геометриски елементи (два дела) и служат за да ги ограничат шесте заемни степени на слобода ($3T, 3R$). Во оваа група ограничувања спаѓаат: допир, порамнување, вметнување и агол.

При допир на две површини, деловите се ориентираат така што допирот да биде од надвор, односно нормалите на површините се во спротивна насока во сите точки од допирот.

Порамнувањето е слично со допирот, но нормалите на одбраните површини се со иста насока.

При *вметнување* се одбираат две кружници, а деловите се ориентираат така што страниците во кои лежат кружниците се допираат од надвор, а центрите на кружниците се преклопуваат.

Ограничувањето на одреден *агол* помеѓу геометриски елементи од различни делови е слично како и параметарската аголна мера, но со него се ограничуваат глобалните степени на слобода на делот во однос на друг дел.

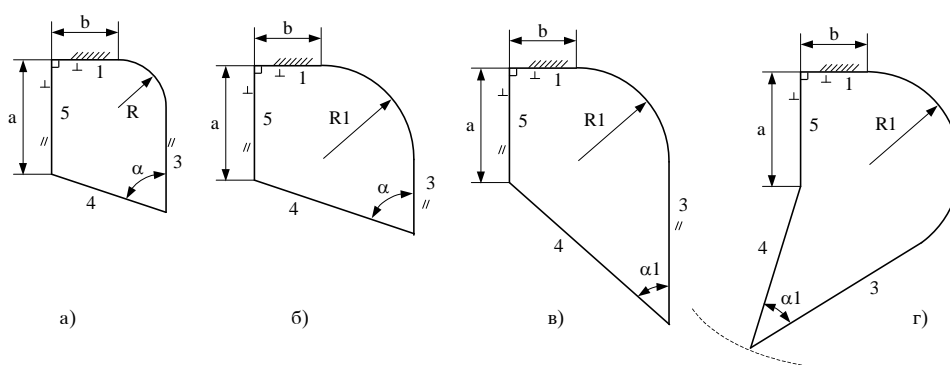
Поделба на ограничувањата според димензионалноста

Според *димензионалноста*, геометриските ограничувања се делат на ограничувања во рамнина (2Д ограничувања) и ограничувања во простор (3Д ограничувања).

Ограничувањата во рамнина се применуваат кај рамнинските скици од кои потоа можат да се формираат параметарски тела. На сл. 3.26 се прикажани неколку геометриски ограничувања помеѓу рамнински елементи. Тука спаѓаат паралелност на линии, растојание, концентричност на кружници, тангентност на лак и кружница и др.

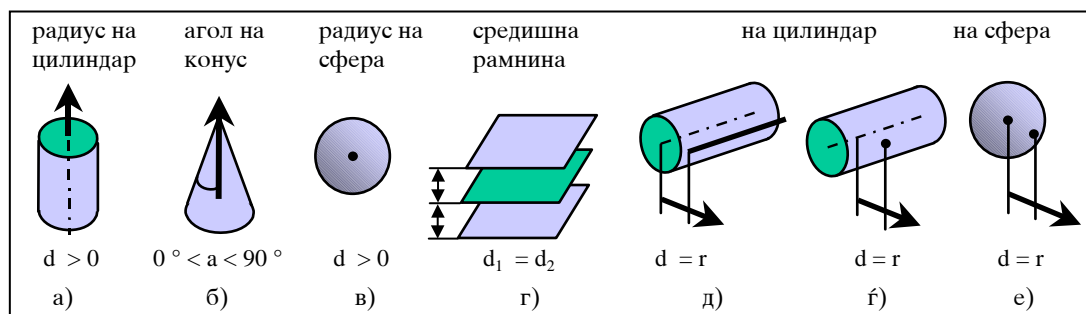
Скицата на сл. 3.26 се состои од пет рабови означени со броевите 1 до 5, кои формираат затворена контура. Геометриските ограничувања зададени помеѓу рабовите на скицата се означени на сликата со помош на симболи или како мери. Работ 1 е хоризонтален и растојанието помеѓу неговите крајни точки е означено со b . Работ 5 е нормален на 1 и растојанието помеѓу неговите крајни точки е означено со a . Работ 3 е паралелен со работ 5. Работ 2 е кружен лак со радиус R кој ги тангира рабовите 1 и 3. Работ 4 е под агол α во однос на работ 3.

И поврзаноста на елементите на контурата може да се претстави како математичко ограничување, на пример, крајните точки на рабовите 1 и 5 мораат да се сретнат во една точка, што се претставува со ограничување на еднаквост на координатите на крајните точки на рабовите. Ако се зададат конкретни вредности за a , b , R и α , тогаш оваа рамнинска фигура е потполно дефинирана како на сл. 3. 26а. Ако се зададе уште некое ограничување, системот ќе го отфрли и ќе јави дека се зададени премногу ограничувања. Ако се зголеми вредноста на радиусот R фигурата ќе се промени како на сл. 3.26б. При промена на вредноста на аголот α скицата ќе се промени како на сл. 3.26в. Ако се отстрани ограничувањето за паралелност на рабовите 5 и 3, скицата има еден степен на слобода и може да се менува како на сл. 3.26г.



Сл. 3.26. Едноставна параметарски дефинирана фигура

Ограничувањата во простор се задаваат помеѓу точки, прави, рамнини, кружници, цилиндри, конуси, торуси и топки. На сл. 3.24 и сл. 3.25 се прикажани просторни ограничувања помеѓу точка, права и рамнина. Заемната положба помеѓу цилиндар, конус, сфера и други геометриски елементи обично се одредува преку одредување на положбата на оската на цилиндарот, центарот на сферата и сл., што се сведува на случаите прикажани на сл. 3.24 и 3.25. Специјалните случаи на заемна положба на овие геометриски елементи се изразуваат преку меѓусебна коинцидентност и тангентност. При коинцидентност едниот геометриски елемент со сите свои точки лежи на другиот. На сл. 3.27 д, ѓ, е се прикажани случаи на коинцидентност на права и точка со цилиндар и коинцидентност на точка со сфера. На сл. 3.27 се претставени и ограничувањата: радиус на цилиндар (растојание од цилиндрична површина до нејзината оска), радиус на сфера (растојание од сфера до нејзиниот центар), агол на конус (агол помеѓу конусна површина и нејзината оска).



Сл. 3.27. Некои ограничувања за цилиндар, конус и сфера

3.5.6. Конструкциски променливи и алгебарски ограничувања

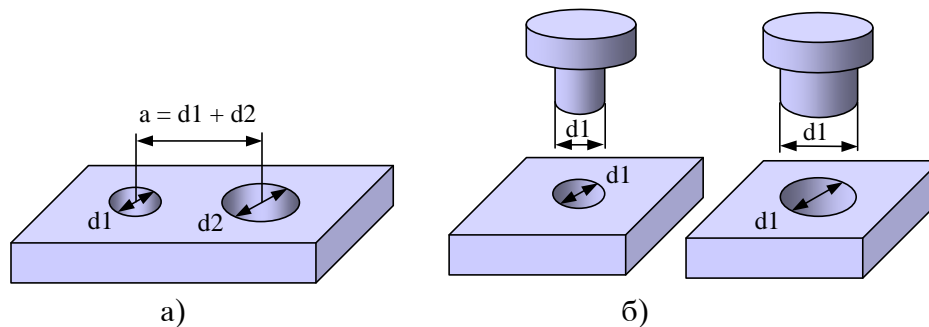
Мерите кај машинските делови и склопови може да се определуваат преку конструкциски променливи и равенки. На овој начин се внесува поголема прегледност и флексибилност при дефинирање и менување на деловите и склоповите. Се користат два типа конструкциски променливи:

- посебни за тековниот дел (локални),
- заеднички за повеќе делови (глобални).

Променливите кои се користат само при моделирање на активниот дел, се нарекуваат *променливи за активниот дел* или со друго име, *локални променливи*. Со менување на овие променливи, може да се изработат различни варијанти на еден дел.

Во машинските конструкции често се користат исти мери кај различни делови, како на пример кај споевите на чеп со отвор (сл. 3.28б). Кога се моделира склоп, ваквите мери се заеднички за два или за повеќе делови од склопот и пожелно е, при промена на мерата на едниот дел (дијаметарот на оската), автоматски да се промени и мерата на другиот дел (дијаметарот на отворот). Мерите кои се користат кај повеќе од еден дел, се задаваат како *заеднички променливи* или со друго име, *глобални променливи*. При промена на вредностите на заедничките конструкциски променливи, програмот сам ги преправа мерите на сите делови кои се дадени преку променливите.

За да се воспостави врска помеѓу конструкциските променливи и мерите на деловите, конструкциските променливи треба да се доделат на соодветните параметарски мери од моделот.



Сл. 3.28. Алгебарско ограничување зададено со равенка (а) и еднаква (глобална) променлива за два параметра од различни делови

Мерите кај машинските делови може да се одредат и според променливи чии вредности се дадени во табела. Ваквите мери се нарекуваат *мери според табела* и автоматски се доделуваат според одбрана веријанта од табелата. Тоа овозможува еден параметарски модел да се користи за формирање низа слични модели преку избор на веријанта од табела. На овој начин едноставно се формираат електронски каталози, кои производителот на палета слични производи може да го нуди како помош на купувачите. Купувачот може сам да направи избор од електронскиот каталог и евентуално да го вгради одбраниот модел во своите производи.

Дополнителна флексибилност кај параметарските модели се постигнува со *алгебарските ограничувања* кои претставуваат равенки во кои се користат конструкциски променливи или параметарски мери. Алгебарските ограничувања се многу корисни и имаат универзална примена. На сл. 3.28а растојанието помеѓу двата отвора е ограничено да биде поголемо или еднакво на збирот на нивните дијаметри. Со ваквото ограничување е заштитена дебелината на ѕидот помеѓу двата отвора. Во равенките може да се користат тригонометриски и други математички функции со што може да се зададат сложени зависимости помеѓу мерите.

3.6. Моделирање на параметарски делови

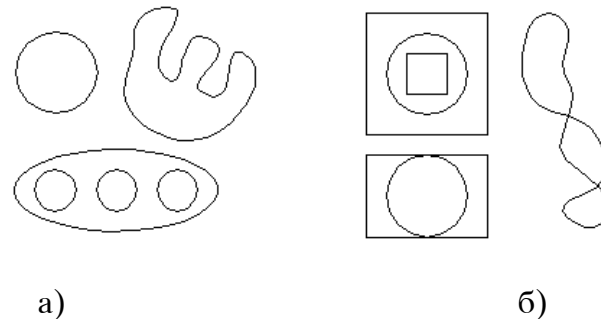
3.6.1. Видови параметарски скици

Појдовен елемент при параметарско моделирање на делови се рамнински или просторни параметарски скици. Со вградување и решавање на геометриски ограничувања, од обична скица се формира *параметарска скица*. Параметарски скици кои најчесто се применуваат при моделирањето на деловите се:

- рамнински профил,
- рамнинска патека,
- просторна патека и
- пресечна линија.

При моделирањето најчесто се користат рамнинските скици. Тие се состојат од геометриски елементи, како што се: линија, лак, круг, елипса, сплајн и слично, надоврзани по затворена или отворена контура.

Рамнинскиот профил најчесто се формира од затворена рамнинска контура, но може да се формира и од отворена контура. Контурата не смее да се пресекува или допира сама со себе (сл. 3.29). Во надворешната контура може да има внатрешни контури кои не смее да бидат вгнездени една во друга, да се допираат или пресекуваат.



Сл. 3.29. Контури од кои може- (а) и од кои не може да се формира профил- (б) за скициран примитив

Основниот облик на машинските делови се моделира од еден или повеќе рамнински профили. Профилите треба да бидат што поедноставни и од нив треба да се моделира првенствено основниот облик на делот. Профилите не треба да се оптоваруваат со поситни детали, како што се соборени и заоблени рабови, групи отвори и слично, кои можат дополнително да се вградат во делот. Обликот на посложените делови се моделира со помош на повеќе профили.

Скица може да се нацрта со различен степен на точност, почнувајќи од произволно скицирање, до сосема прецизно цртање по точно зададени мери. Пожелно е скицата да се нацрта со точен облик за да може програмот автоматски да ги препознае геометриските ограничувања (паралелност, нормалност, тангентност и т.н.) со што се скратува времето за ограничување на скицата. Скицата не мора да се црта со точни мери зошто при котирањето со параметарски мери скицата автоматски се прилагодува. Сепак, пожелно е првобитната скица да биде приближна по мери со конечната, за да се одбегнуваат поголеми деформации при вградување на мерите.

Пожелно е профилот да биде целосно ограничен. Сепак, при изработка на концепт на дел не мора да бидат зададени сите ограничувања и мери, ниту пак конечни вредности на мерите.

Рамнинскиот и просјорниот тип најчесто се формираат од отворена контура, но може да се користи и затворена контура. *Линиите на раздвојување* се формираат од отворена контура.

3.6.2. Ограничување на параметарските скици

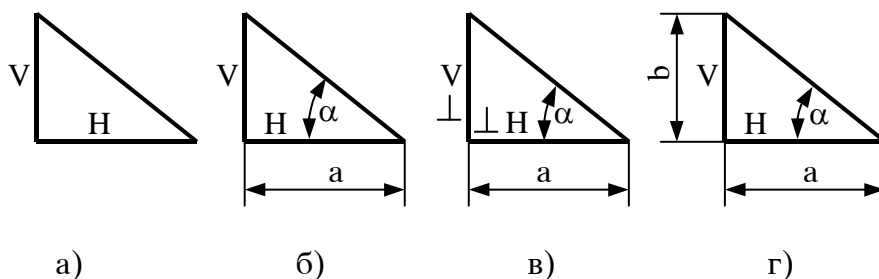
Параметарските скици содржат два вида ограничувања: геометриски ограничувања и параметарски мери. *Геометриските ограничувања* (geometric constraints) ги опфаќаат оние односи помеѓу геометриските елементи со кои се одредува обликот на скицата. Некои геометриски ограничувања автоматски се подразбираат од геометријата на скицата, а некои мора да се зададат. Најчесто користени геометриски ограничувања се: хоризонталност, вертикалност, паралелност, нормалност, колинеарност, концентричност, тангентност, еднаквост на должини, еднаквост на координати и др. *Параметарските мери*

(parametric dimensions) се задаваат како растојанија, дијаметри и агли. Скицата автоматски се менува при внесување и промена на параметарските мери.

Системот кој ја следи коректноста и комплетноста на зададените мери и ограничувања се нарекува *систем за решавање на ограничувања* (анг. constraint solver), а процесот на решавање на равенките на ограничувањата се нарекува *решавање на ограничувањата* (анг. constraint solving). Овој систем не дозволува да се внесат повеќе ограничувања и мери отколку што е потребно за целосно определување на геометријата на скицата. Исто така, при пресметка на ограничувањата системот јавува уште колку ограничувања треба да се вградат за целосно ограничување на геометријата на скицата. Системот јавува грешка кога се зададени ограничувања кои се во конфликт со претходно внесните ограничувања и не ги прифаќа ваквите ограничувања.

Според степенот на ограниченост разликуваме три вида параметарски скици. *Недоволно ограничена* е онаа параметарска скица кај која геометриските односи и мерите не се целосно зададени. На пример, кај правоаголниот триаголник на сл. 3.30а се внесени само ограничувањата за хоризонталност и вертикалност на краците, и должината на едниот крак, но не е зададено како да се определи големината на останатите геометриски елементи како аглите, другиот крак или хипотенузата.

Целосно ограничена е онаа скица кај која точно е дефиниран начинот на кој се определува (пресметува) положбата и големината на сите елементи од скицата. На пример, правоаголниот триаголник на сл. 3.30б е целосно определен со двете ограничувања на хоризонталност и вертикалност на краците, должината на едниот крак и аголот на кракот со хипотенузата. Целосно ограничена скица едноставно се менува на предвидлив начин и затоа е препорачливо да се зададат сите потребни ограничувања.

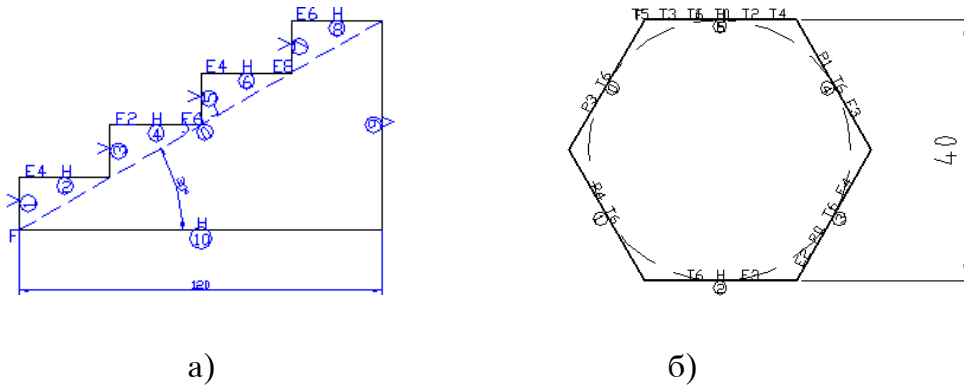


Сл. 3.30. Случаи на ограничување на рамнинска скица

Ако во скицата по некој случај се внесат повеќе ограничувања отколку е потребно се добива *преограничена скица*. Преограничените скици можат да бидат *конзистентно преограничени* и *неконзистентно преограничени*. Конзистентно преограничен е на пример правоаголниот триаголник на сл. 3.30в, кај кој освен хоризонталност и вертикалност на краците е зададена и заемна нормалност на краците. Овие ограничувања не се исклучуваат заемно и не прават никакви проблеми.

Неконзистентно преограничена е скицата на сл. 3.30г каде се зададени ограничувања на хоризонталност, вертикалност и должините на краците, а зададена е и големината на еден од аглите кон хипотенузата. Во скицата постои можност на повеќе начини да се пресмета иста големина и притоа да се добијат различни вредности.

За полесно ограничување на скица можат да се користат и помошни геометриски елементи, како *конструктивни линии и кружници*. Со нив едноставно се ограничуваат симетрично поставени геометриски елементи или геометриски елементи наредени по линија или круг. На сл. 3.31а е користена конструктивна линија која овозможува да се котира аголот и ги "држи" скалите. На сл. 3.31б, конструктивната кружница ги ограничува тангентно на себе страните од шестоаголникот.



Сл. 3.31. Примена на конструктивна линија (а) и конструктивна кружница (б) за полесно ограничување на параметарска скица

3.6.3. Класификација на параметарските примитиви

При моделирањето на деловите се користат два вида примитиви: *градбени примитиви* и *работни примитиви* (сл. 3.32).

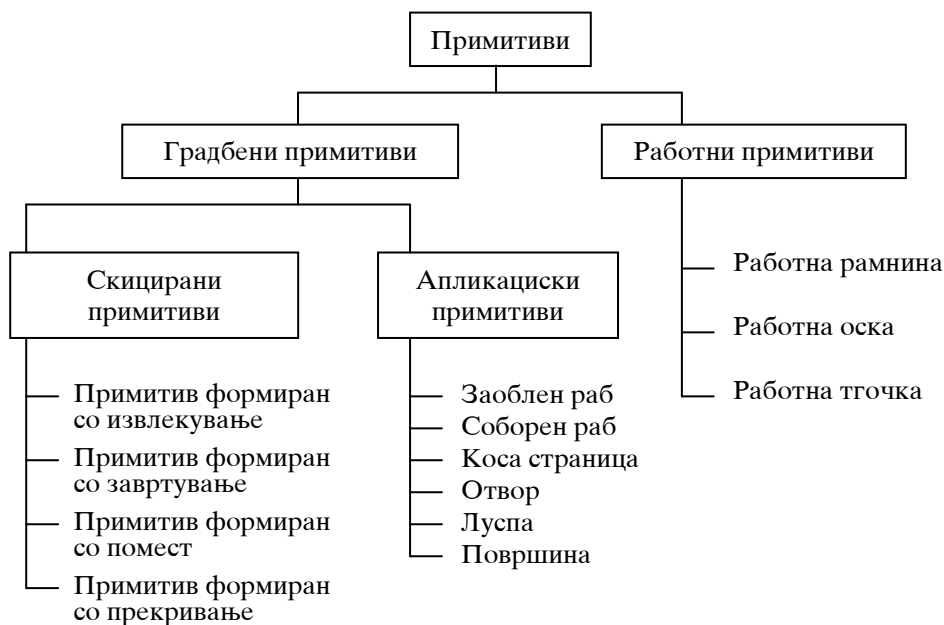
Во основа, параметарското моделирање на машинските делови се одвива преку комбинирање на градбени параметарски примитиви со помош на Буловите операции. *Градбените примитиви* се тридимензионални параметарски тела со помош на кои се гради обликот на делот.

При параметарското моделирање на машинските делови, освен градбените примитиви, се применуваат и *работни примитиви*. Работните примитиви се со помала димензионалност (работна рамнина, работна оска и работна точка) и се користат за полесно ограничување на заемната положба на градбените примитиви.

Според начинот на формирањето, градбените параметарски примитиви се класифицирани во две основни групи: *скицирани примитиви* и *апликациски примитиви*.

Скицираните примитиви се параметарски тела кои се формираат од параметарски скици со помош на операциите за моделирање. Операции за моделирање на скицираните примитиви се: *извлекување, завршување, помест и прекривање*. Скицираните примитиве се основни градбени елементи и со нив се започнува моделирањето на дел.

Апликациски примитиви се претхоно дефинирани примитиви кои се повикуваат преку соодветни наредби. Се применуваат повеќе видови апликациски примитиви како: отвори, луспи, заоблени рабови, соборени рабови, закосени страници, вметнати површини, вметнати тела и др. Апликациските примитиви се додатни градбени елементи и се вградуваат на соодветни скицирани примитиви. Со апликациски примитив не може да се започне моделирање на дел.



Сл. 3.32. Видови примитиви за моделирање на машински делови

3.6.4. Скицирани примитиви

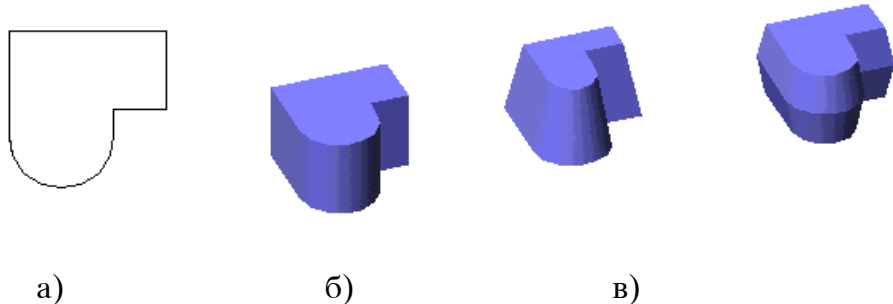
Скицираните примитиви се тридимензионални тела чиј облик се добива од една или од повеќе параметарски скици со примена на операциите за моделирање. Основни операции за моделирање на скицирани примитиви се: *извлекување* на профил долж праволиниска патека (Extrude), *завртување* на профил околу оска (Revolve), *поместување* на профил долж криволиниска рамнинска или просторна патека (Sweep) и *мазно поврзување* на повеќе профили со *прекривање* (Loft).

При формирање на скициран примитив од една или од повеќе параметарски скици, скиците стануваат составен дел на примитивот, односно тие се *искористени параметарски скици*. Скицираните примитиви може едноставно да се менуваат со промена на нивната скица или со промена на параметрите на операцијата за моделирање.

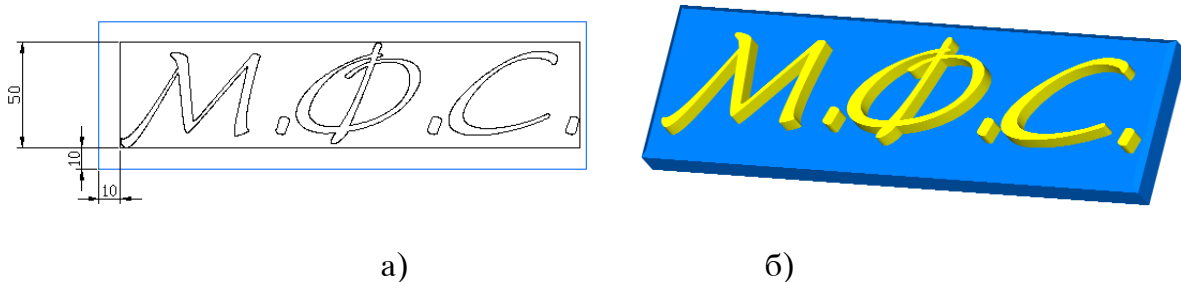
При *моделирање со извлекување* (сл. 3.33) се задава: должината на извлекувањето на профилот, аголот на наклон и Буловата операција со која новоформируваниот примитив се вградува во делот. При позитивен агол профилот се проширува, при негативен агол - се стеснува, а при агол 0, профилот не се менува (сл. 3.33в,г).

Со извлекување се моделираат и ознаки втиснати во деловите или испакнат текст. Повеќето програми за моделирање можат автоматски да формираат профил на текст според изгледот на буквите. Со извлекување на профилот на текстот се формира примитив во облик на текстот (сл. 3.34).

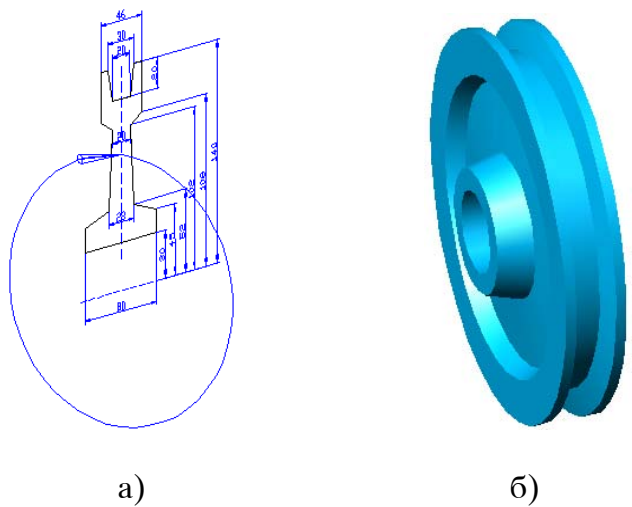
При *моделирањето со завртување*, примитивот се моделира со завртување на профил околу оска за одреден агол или за цел круг (сл. 3.35). Оскаста може да биде дефинирана како работна оска, раб од тело или линија од профилот.



Сл. 3.33. Скициран примојив моделиран со извлекување : нормално на профилој (б), со снеснување на профилој (в) и симетрично на двејие страни од профилој (г)



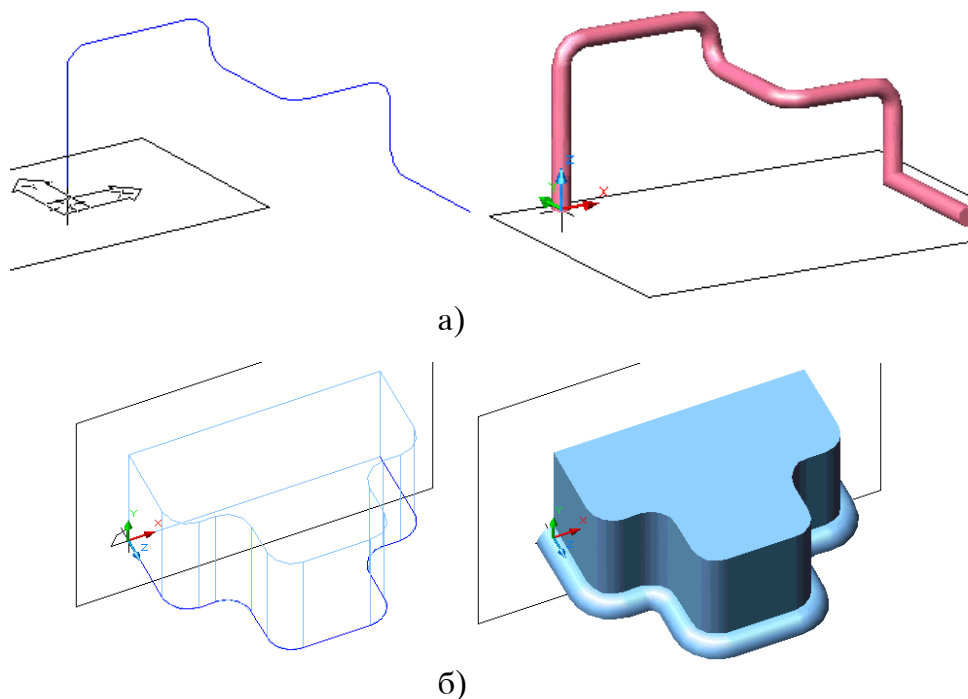
Сл. 3.34. Моделирање на текс со извлекување: профил на тексјој (а) и тексј моделран со извлекување (б)



Сл. 3.35. Профил (а) и ременица моделорана со заврјување (б)

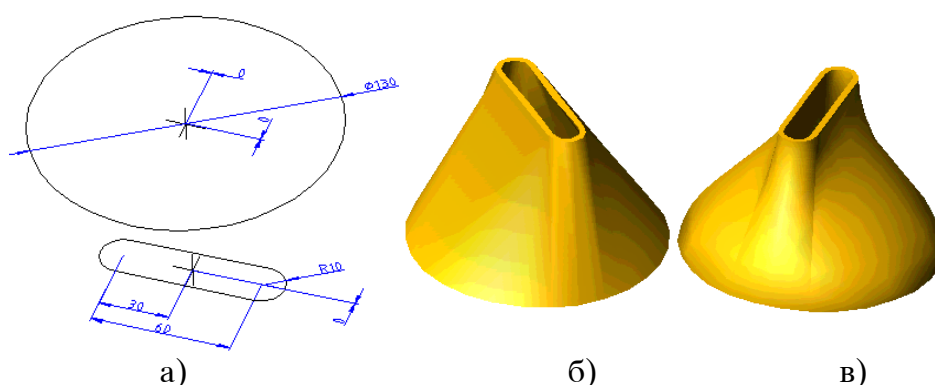
Моделирањето со помесј се применува за да се формираат делови кои се дефинираат со поместување на профил долж рамнинска или просторна патека. Делови кои се моделираат со помест се: цевки, рачки, навои, орнаменти и др.

Рамнинските патеки може да се состојат од надоврзани линии, лази, делови од елипса или рамнински сплајн. Просторните патеки може да бидат во облик на навојница, просторна полилинија (сл. 3.36а), просторен сплајн или раб од тело (сл. 3.36б). Обликот на просторна полилинија и просторен сплајн се контролира преку табела со точки низ кои минува кривата.



Сл. 3.36. Примитиви моделирани со ѓомесѓ: а) ѓо ѓросѓорна ѓолилиниѓа, б) ѓо раб од ѓело

При моделирање со ѓрекривање се врши континуирано поврзување на два или повеќе профили во простор. Формираниот примитив е тело со сложена површина коѓа може да биде со праволиниски изводници или со изводници кои се кубни сплајнови. Тело со сложена површина со праволиниски изводници (линеарен лофт) може да се формира со прекривање на само два профила. Тело со синтетска Б-сплајн површина од трет степен (кубен лофт) се добива со мазно поврзување на два или повеќе профила. На сл. 3.37б е прикажан примитив со линерана прекривка, а на сл.3.37в со кубна прекривка.



Сл. 3.37. Моделирање на дел со ѓрекривање на два ѓрофила

3.6.5. Апликациски примитиви

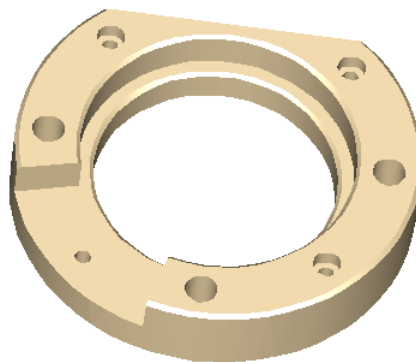
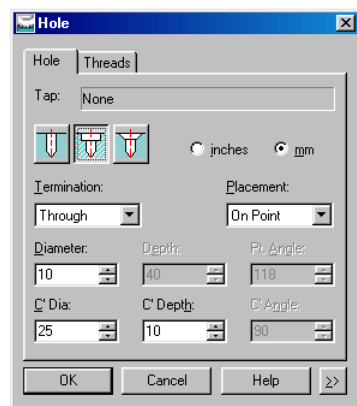
Апликациските примитиви се готови облици, за кои не е потребно да се црта скица. Начинот на формирање и вградување на овие примитиви е целосно определен од самата програма. При вградување на апликациски примитив треба само да се зададат вредности на соодветните параметри и да се одберат

геометриски елементи од делот според кои се поставува примитивот. Примери на апликациски примитиви се: различни отвори, заоблувања, заоблувања со променлив радиус, жлебови, лушпи, и др.

Апликациските примитиви имаат свои претходно дефинирани параметри за мерите, операција за вградување и параметри за поставување во однос на делот. По задавање на вредностите на параметрите на мерите и на положбата, примитивот се вградува во делот со предодредена Булова операција.

Апликациските примитиви, како што се: отвори (сл. 3.38), заоблувања (сл. 3.39), соборени рабови, лушпи (сл. 3.37б,в), се геометриски зависни од обликот на делот во кој се вградуваат, на пример: должината на проодниот отвор зависи од дебелината на делот, обликот на лушпата зависи од обликот на делот во кој се вградува, заоблувањето зависи од работ кој се заоблува и сл. Поради тоа, апликациски примитив не може да се користи како основен примитив.

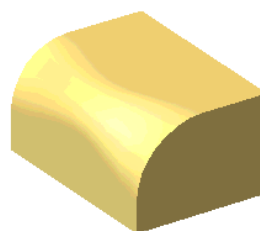
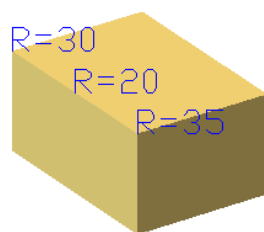
Поради своите посебни својства и примена, апликациските примитиви се подетално објаснети во точка 3.6.9 и 3.6.10.



а)

б)

Сл. 3.38. Податоци за вградување на сфериенесит прооден отвор (а) и вградени отвори

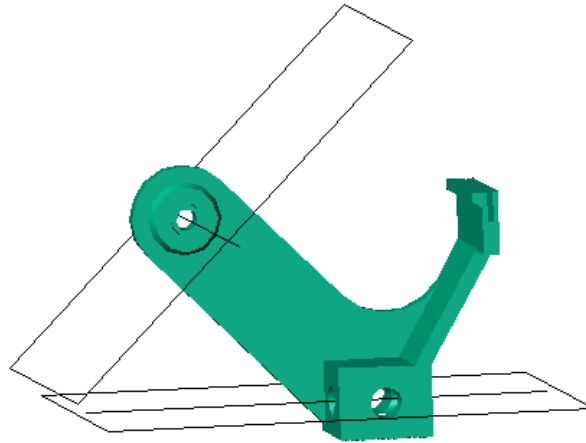


Сл. 3.39. Променлив радиус на заоблување

3.6.6. Работни примитиви

Работните примитиви се користат за ограничување и поставување на скици на местата каде што не постои погодна рамна страница од делот или друга геометрија. Работните примитиви едноставно се ограничуваат во однос на други геометриски елементи и се вградуваат во делот. Работните примитиви понатаму се составен дел од моделот на машинскиот дел.

Работна рамнина се вградува како подлога за поставување скицирачка рамнина. Во делот може да се вградат повеќе работни рамнини, кои параметарски се ограничуваат во однос на други геометриски елементи од делот, на пример, рабови, оски и страници. Работните рамнини се применуваат и за дефинирање на пресеци на делот (сл.).



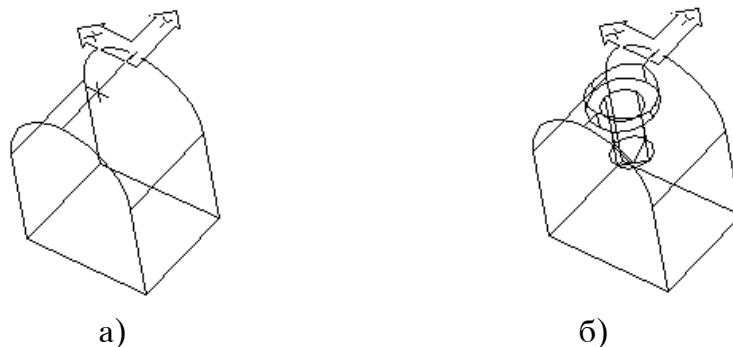
Сл. 3.40. Работни оски во отворите и работни рамнини низ оските

Скицирачка рамнина е тековната рамнина во која можеме да нацртаме нова скица од која се формира скициран примитив. *Скицирачката рамнина* е само една и неа можеме да ја поместуваме неограничен број пати (според потребата). Скицирачката рамнина, обично, се поставува врз страница од делот, врз работна рамнина и др.

Работна оска е параметарска конструктивна линија која се поставува како оска на цилиндричен или конусен примитив (сл.). Работната оска може понатаму да се користи за да низ неа се постави работна рамнина, како центар на примитив кој се моделира со завртување, како оска за формирање навојница, како центар на група примитиви распоредени по круг и др.

Работна точка се вградува на местата каде што не постои соодветен геометриски елемент во однос на кој може да се определи положбата на други елементи. Работна точка треба да се вгради, на пример кај сл., како центар на отвор кој се поставува на нерамна страница, за центар на кружна низа од примитиви, за поставување на сложена површина која се вградува во дел и др.

Положбата на параметарски дефинираните работни примитиви е ограничена во однос на страниците, рабовите и други елементи. Поради тоа, параметарски дефинираните работни примитиви ги следат промените на делот.



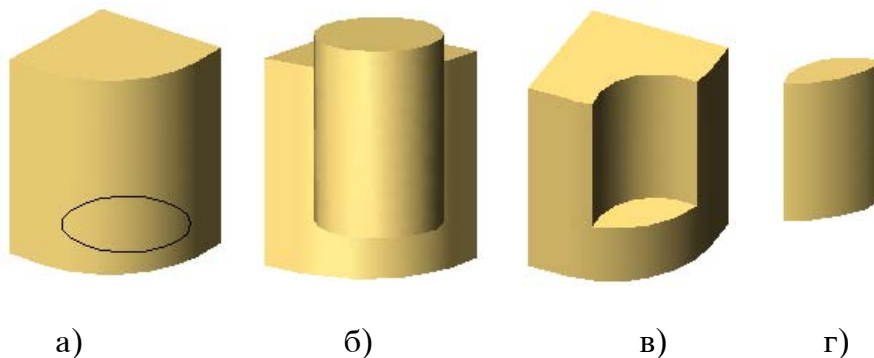
Сл. 3.41. Работна точка (а), сфериен отвор со центар во работна точка (б)

3.6.7. Операции за моделирање на параметарски делови

Првиот примитив со кој се започнува моделирањето на дел се нарекува *основен примитив*. За да се моделираат делови со сложена геометрија, обично, се користат повеќе примитиви, кои се комбинираат со основниот примитив.

Скицираните примитиви се комбинираат со основниот примитив или со други претходно зададени примитиви со помош на Буловите операции: *додавање*, *одземање* и *пресек*. Примитивот се ограничува во однос на делот со геометриски ограничувања и параметарски мери.

На сл. 3.42а е прикажан едноставен дел во кој треба да се вгради скициран примитив, чија скица е кружница. Примитивот се моделира со операцијата извлекување, а прикажани се три различни операции за вградување. Со операцијата додавање (сл. 3.42б), вториот примитив се додава кон делот. Со операцијата одземање (сл. 3.42в), волуменот на примитивот се отсекува од делот. Со пресек (сл. 3.42г) се добива дел кој одговара на заедничкиот зафатен волумен.



Сл. 3.42. Вградување на скициран примитив (а) со операциите: (б)- додавање, (в)- одземање и (г)- пресек

3.6.8. Дополнителни техники за моделирање на делови

Покрај основните техники за моделирање, моделерите нудат и дополнителни техники за моделирање, како што се: *свикување на дел*, *комбинирање на дел со дел-алаат*, *разделување на еден дел на два дела*, *пресекување на страница* и *закоосување на страница*.

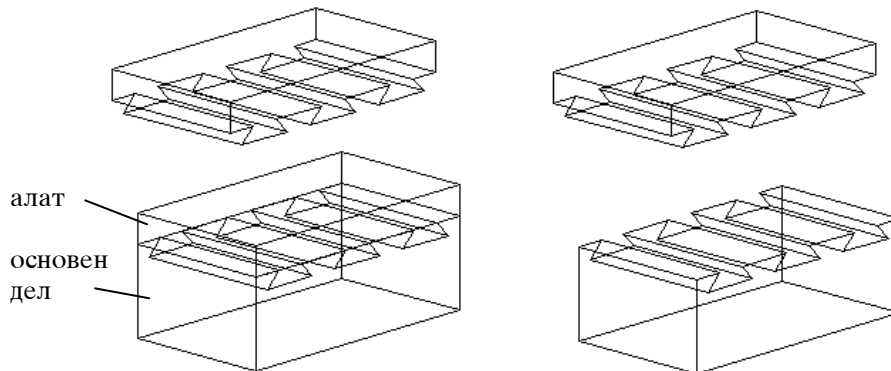
Страница се пресекува кога врз неа се проектира параметарска линија на раздвојување. Притоа се формира нов раб и нови темиња со кои страницата се раздвојува на две страници. Со една линија на раздвојување може одеднаш да се пресечат повеќе страници од делот.

Одбрани страници од делот може да се закосят под даден агол. Обично по пресекување на страница следува закоосување на страница. За една или повеќе страници кои се закосуваат се задава агол на наклон во однос на некоја рамна страница од делот.

Еден дел може да се пресече и раздвои на два дела со помош на параметарска линија на раздвојување. Линијата на раздвојување се формира од линија или отворена пололинија која се проектира врз делот и го пресекува на два дела.

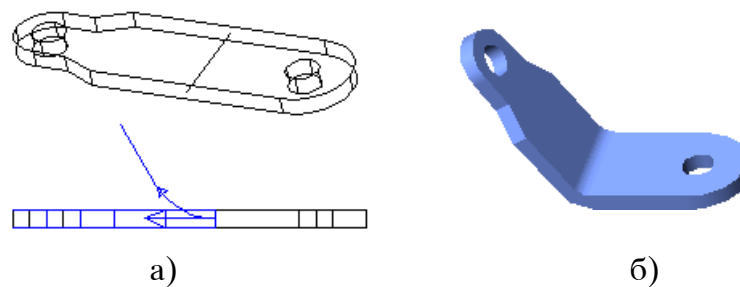
При комбинирање на два дела со помош на Буловите операции се формира комбиниран дел. Едниот од овие делови е основен дел, а другиот е дел-алаат (сл.

3.43). Прво што треба да се направи при комбинирање на делови е да се одбере кој дел да биде основен дел, а кој дел-алат. Во основниот дел може да се вградат повеќе делови-алати.



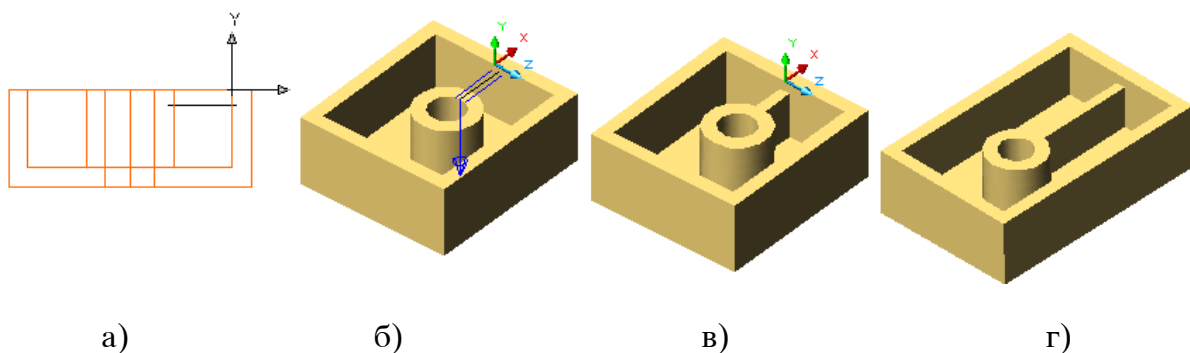
Сл. 3.43. Комбинирање на седен дел со друг дел-алат

Моделирањето со свиткување се применува најчесто кај деловите кои се изработуваат од лим (сл.3.44). Повеќето моделири нудат богати библиотеки на примитиви наменети за моделирање на делови кои се изработуваат од лим.



Сл. 3.44. Моделирање на дел со свиткување

Ребра се моделираат со цртање на линија за контура на реброто и со задавање на дебелина и насока на простирање на реброто. Работо понатаму само се адаптира при вршење на промени на моделот (сл.).



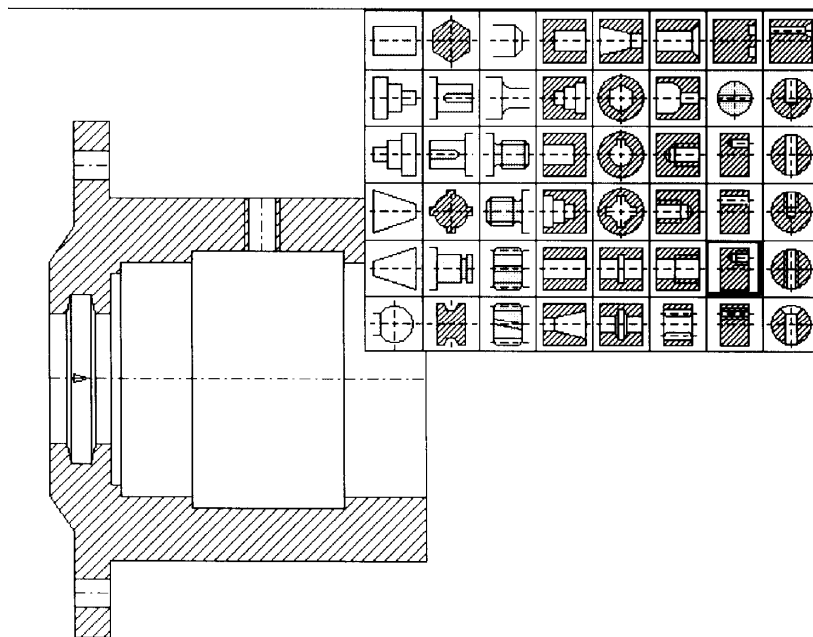
Сл. 3.45. Линија за контура на ребро (а), дебелина и насока на ребројќо (б), изглед (в) и адаптација на ребројќо при менување на димензии на куќијата (г)

3.6.9. Карактеристики на апликациските примитиви

Геометриските и тополошките информации претставени кај моделите на цврсти тела, како и параметрите кај параметарските модели, се многу важни но не и доволни информации од аспект на поврзувањето на конструирањето и проектирањето на постапките за изработка. Модел на цврсто тело нема информација за значењето на примитивите вградени во делот. На пример, програмот нема информација дека ако од едена призма се одземе помал цилиндар, се формира *цилиндричен отвор*. Оваа информација е важна за автоматско проектирање на постапките за изработка, бидејќи постапката за изработка на цилиндричен отвор е добро позната и можат автоматски да се одберат потребните алати, движењата на алатите, режимите, итн. Поарди тоа, системот за моделирање треба да има можност да ги препознае и претстави оние делови од геометријата на делот кои имаат одредно значење за некоја инженерска апликација, со што се одредува значењето на моделираната геометрија.

Апликациските примитиви (анг. *features*) го содржат инженерското значење на делови од геометријата на машинските делови или склопови и како такви се применуваат при конструирањето на производот, проектирање на изработката и други апликации. Примената на апликациските примитиви ја олеснува автоматизацијата на овие процеси, бидејќи во моделите на деловите или склоповите се претставуваат дополнителни информации кои ја дообјаснуваат геометријата и нејзиното значење за корисникот зависно од апликацијата.

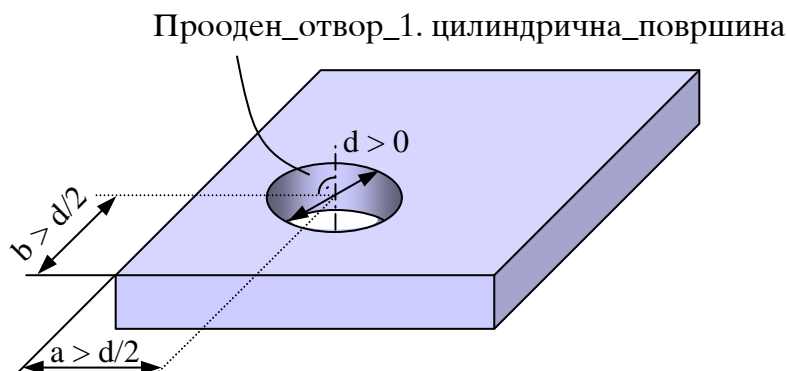
Од аспект на геометриското моделирање, апликациските примитиви претставуваат групи на геометриски и тополошки елементи, кои се сметаат за една целина со одредено инженерско значење. На сл.3.46 се прокажани апликациски примитиви за ротациони делови со неротациони отстапувања од обликот. Овие апликациски примитиви можат да се применат и во конструирањето и во проектирањето на производството.



Сл.3.46. Неколку примитиви за ротациони делови со неротациони отстапувања

Моделирањето со апликациски примитиви ја олеснува работата на конструкторот, особено во фазата на разработка на деталите на конструкцијата. За да се вгради, на пример, еден прооден отвор во параметарски модел на дел, потребно е да се внесе дијаметарот и да се покаже една страница од делот, а останатите елементи системот сам ги подготвува. За *проодниот отвор* (сл. 3.47) системот однапред го знае следното:

- отворот се формира од цилиндар,
- кој се вградува со Буловата операција разлика,
- при што се формира цилиндрична површина-луска (слепиот отвор има и дно),
- негов параметар е дијаметарот d со ограничување $d > 0$,
- должината на отворот се добива според големината на делот каде се вградува,
- оската на отворот е нормална на површината на која се вградува,
- според обликот на површината на која се вградува, се доделуваат параметрите на положбата на отворот (на пример, кај правоаголна површина параметри на положбата на отворот се две растојанија a и b од два взаемно нормални раба за кои важат ограничувањата $a > d/2$ и $b > d/2$).



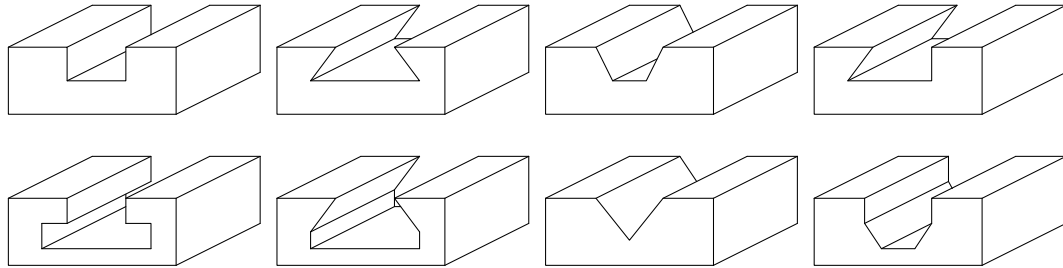
Сл. 3.47. Дефиниција на параметарски апликациски примитив

Ова е *интелигентна дефиниција на прооден отвор*, бидејќи отворот при неговото вградување логично се адаптира во околината на моделот. Доколку делот се деформира или издолжи, отворот ќе се прилагоди и повторно ќе го пробива целосно делот, како што е дадено во дефиницијата. Системите за моделирање со апликациски примитиви поседуваат однапред програмирани дефиниции за различни апликациски примитиви, со што се олеснува моделирањето и се вградуваат дополнителни корисни информации за делот.

Апликациските примитиви можат да се *класифицираат според видот на апликацијата*, така што разликуваме конструкциски примитиви, процесни примитиви, примитиви за монтажа и др. *Конструкцискии примитиви* може понатаму да се поделат на класи: примитиви за ротациони делови, за призматични делови, за делови од лим и др. Примитивите за неротациони делови можат да се класифицираат на *дебови*, проодни отвори, надолжни жлебови, степеници итн (сл. 3.49).

Ваквите класификации се корисни од аспект на групирање на апликациските примитиви според својставата во класи, така што дефиницијата на секој примитив се формира делумно според својствата на класата (својства кои се

исти за секој примитив кој припаѓа на одредена класа), а делумно со специфични својства за дадениот примитив. Така на пример, заеднички својства за класата надолжни проодни жлебови (сл.3.48) се дека должината на жлебот се одредува според делот на кој се вградува, средишната рамнина на жлебот е нормална на страницата на која се поставува жлебот, Буловата операција за вградување на жлебот е разлика итн. Посебно за секој одлик на жлеб се одредени потребните параметри и ограничувањата на параметрите.



Сл. 3.48. Примероци на класата жлебови: правоаголен, ласовичка и други

Моделерите кои имаат можност за претставување на апликациски примитиви се викаат *моделери со апликациски примитиви*. Моделерите од поновата генерација се воглавно *параметарски моделери со апликациски примитиви (parametric feature based modeler)*. Карактеристично за овие моделери е што имаат *библиотека на однапред дефинирани апликациски примитиви*, чиј спектар е прилагоден спрема одредена намена. Според големината на библиотеката може да се процени дали моделерот е навистина апликациски ориентиран или е за општа намена.

3.6.10. Начини на формирање на апликациските примитиви

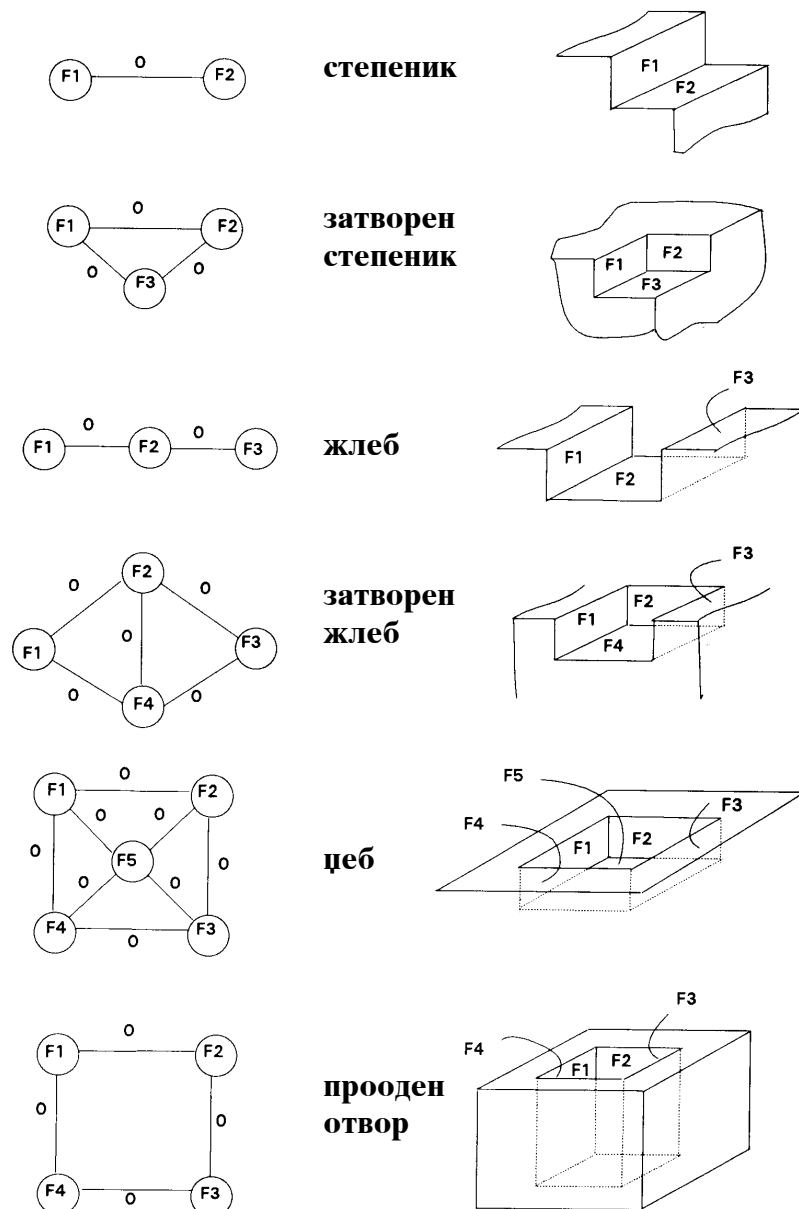
Апликациските примитиви се формираат воглавно на три начина: 1) со интерактивно дефинирање, 2) со одбирање од библиотека и вградување во моделот и 3) со препознавање врз основа на модел на цврсто тело.

При *интерактивното дефинирање*, корисникот прво го формира геометрискиот модел, а потоа со покажување ги одбира оние геометриски елементи од моделот кои заедно прават апликациски примитив. Овој пристап е напорен за корисникот и се применува при опишување на нов примитив, кој потоа може да се смести во библиотека за понатамошна примена. Новите генерации моделери овозможуваат формирање библиотека на примитиви дефинирани од корисникот.

Системите за моделирање нудат *преддефинирани апликациски примитиви кои се одбираат преку наредби или од библиотеки*. Моделерите со богати библиотеки на примитиви се ориентирани кон одредена проблематика и се обично со повисока цена од моделерите за општа намена, кои имаат скромна библиотека на примитиви. Моделирањето со преддефинираните примитиви најмногу се применуваат во конструирањето.

Ваквиот пристап не е адекватен за автоматско проектирање на постапката за изработка, каде целокупниот облик на дел треба да е дефиниран преку апликациските (процесни) примитиви. Процесните примитиви не се секогаш исти со конструкциските примитиви. Ако се моделира дел директно со процесни

примитиви се отежнува работата на конструкторот, зошто тој/таа мора да се оптеретува и со проектирање на постапката за изработка на делот. Освен тоа, моделирањето на дел директно со процесни примитиви ја намалува флексибилноста на проектирањето на постапката за изработка на делот.



Сл. 3.49. Неколку класи на апликациски примитиви за призмајични делови и графови со кои се претставуваат (F - страница, O - конкавен раб)

Трет пристап е препознавање на апликациските примитиви врз основа на моделот на делот, при што се применуваат правила за препознавање според видот на апликациските примитиви. Еден начин на препознавање е преку анализа на обвивката. На пример, цеб (сл. 3.49) се препознава така што се наоѓа изолирана внатрешна контура, и пет страници ($F1$, $F2$, $F3$, $F4$ и $F5$) помеѓу кои аглите се конкавни (поголеми од 180°). Испакнатина се дефинира на сличен начин, со тоа што аглите помеѓу страниците се конвексни (помали од 180°). Друг

начин на препознавање е со споредување на готовиот дел и суровото парче од кој делот треба да се изработи, при што се одредува *делта-волуменот кој треба да се оцрта при обработката*. Делта-волуменот потоа по потреба се дели на помали волумени кои можат да се отстранат со една операција на обработка, при што се добива редоследот на обработката на делот. Постапките на препознавање на апликациските примитиви не се сеуште стандардизирани и се доста разновидни. Правилата за препознавање на секој примитив треба да се однапред дефинирани и зависат од апликацијата.

Моделерите од понова генерација имаат вградени алгоритми за препознавање на различни видови на конструкциски примитиви. Овие алгоритми овозможуваат од обичен модел на цврсто тело автоматски да се формира параметарски модел според препознаените примитиви. Алгоритми за препознавање на процесните примитиви се вградени во системите за проектирање на постапката за изработка.

Најголема предност на моделирањето со апликациски примитиви е што постапката одговара на начинот на размислувањето на конструкторот. Поради тоа, системите за моделирање кои користат апликациски примитиви се нарекуваат уште *интелигентни CAD системи*. Облиците кои конструкторот ги вградува во делот имаат точно одредена функција, значење и начин на примена, а многу од нив се и стандардни. Со вградување на подготвени апликациски примитиви се олеснува работата на конструкторот.

Незгодна страна на моделирањето со апликациски примитиви е што целиот спектар на примитиви кој го користи конструкторот не може да се зададе однапред. При конструирањето се применуваат најчесто конструкциски примитиви кои се со општа намена, како што се машинските елементи и примитиви карактеристични за одредено подрачје (за делови од лим, челични конструкции, цевни инсталации). Поновите системи за моделирање нудат соодветна постапка со која може релативно едноставно да се состави дефиниција на нов примитив, доколку е потребен, а го нема во библиотеката.

3.7. ФОРМИРАЊЕ НА ПАРАМЕТАРСКИ СКЛОПОВИ

Повеќето машински производи се состојат од повеќе делови поврзани заедно во целина наречена склоп. Моделирањето на склоповите во денешни услови, обично, го извршува тим од конструктори кои се специјалисти за различни области. За да се овозможи усогласеност на нивната работа, сите членови од тимот работат врз иста проектна документација и комуницираат преку локална мрежа, така што направените измени во склопот или деловите се веднаш достапни на сите членови на тимот.

3.7.1. Внатрешни и надворешни делови

Склоповите може да содржат голем број делови. При моделирање на повеќе делови во иста датотека, таквите делови се локални за склопот. Кога ќе го снимиме склопот во датотека, во датотеката се сместени дефинициите на сите делови заедно. Деловите за кои дефиницијата е сместена во датотеката на склопниот цртеж се *внатрешни делови*. Деловите кои се внатрешни за склопот поедноставно се менуваат во самиот склоп, но не се достапни однадвор. Ваквиот

начин на работа може да се користи само за склопови составени од мал број делови.

Кај посложените склопови или при тимска работа, деловите почесто се помнат во засебни датотеки, а во склопот се вградува само копија од делот која е поврзана со надворешна датотека. Делови од склоп, за кои дефинициите се сместени во засебни датотеки за секој дел се нарекуваат *надворешни делови*.

Работата со надворешни делови дава повеќе предности:

- се растоварува склопот и се забрзува работата,
- деловите може да се користат и во други склопови,
- ако еден надворешен дел е вграден во повеќе склопови, тогаш секоја негова промена се јавува во сите склопови,
- работилничките цртежи се изработуваат во датотеките на деловите.

При менување на надворешен дел, програмот овозможува заштита од истовремено менување на ист дел од различни корисници, така што забаранува пристап до датотеката додека го менуваме делот. При обновување на склопот, автоматски се вчитуваат промените направени на надворешните делови, така што сите членови од тимот веднаш се информирани за направените промени.

3.7.2. Хиерархиска градба на склоп

Посложените склопови содржат повеќе помали потсклопови и делови. Системите за моделирање овозможуваат групирање на деловите во потсклопови и формирање на *хиерархија на склопови*. Хиерархиската градба на склопот се помни во вид на ацикличен граф. Корен на графот е целиот склоп, внатрешни јазли на графот се потсклоповите, а терминални јазли (лисја) на графот се деловите.

Еден ист дел може да се вгради повеќе пати на различни места во склопот. Притоа се вградуваат примероци (копии) од истата дефиниција на дел. Од една дефиниција може да се изработат неограничен број копии. Со промена на дефиницијата на делот, автоматски се менуваат сите примероци од тој вид на дел.

Слично како за деловите, така и потсклоповите може да бидат дефинирани внатрешно во склопот или како надворешен потсклопови. Надворешен потсклопот може како целина да се вгради во друг поголем склоп.

Точно заемно поставување на деловите во склоп се овозможува со вградување на *ограничувања помеѓу деловите*. Ограничувањата овозможуваат точна пресметка на положбата и ориентацијата на деловите, како и запазување на положбата по правење на промени.

Моделираните склопови може понатаму да се анализираат. Анализите на склоп како појдовна информација ја користат геометријата и положбата на деловите во склопот. Овие анализи може да бидат со различна сложеност, како: проверка на задир, проверка на зададените толеранции, проверка на кинематиката и динамиката на конструкцијата и др. За посложените видови анализа се користат дополнителни софтверски пакети.

3.7.3. Ограничувања за поврзување на деловите во склоп

Параметарски склоп претставува група на делови заедно со нивните заемни ограничувања. Деловите и потсклоповите се поврзуваат заемно во склоп со примена на 3Д-ограничувања. Најчести 3Д-ограничувања се: допир,

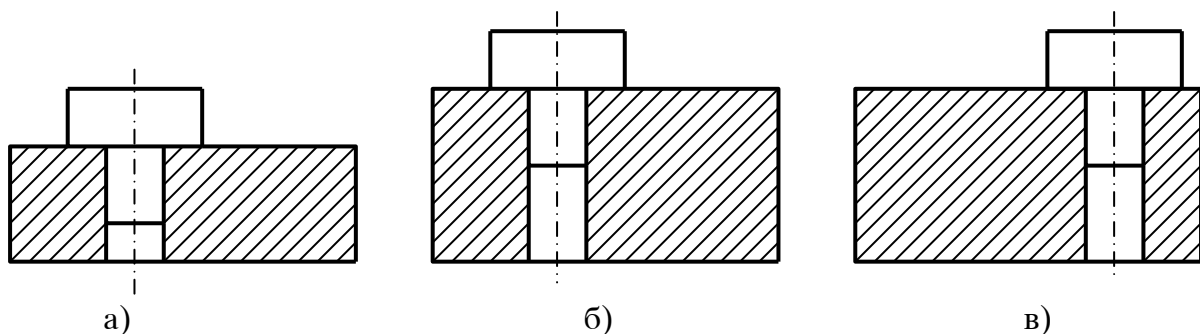
порамнување, вметнување и агол. Ограничувањата се задаваат преку избор на два геометриски елемента од различни делови.

Со 3Д-ограничувањата се ограничуваат степените на слобода за заемно движење на деловите. Првиот дел вграден во склопот се смета за неподвижен. Подвижноста на останатите делови се определува според нивните врски со претходно вградените делови. Положбата на дел во склопот е целосно определена ако му се ограничени сите шест степени на слобода.

Примената на 3Д-ограничувањата, кои овде се нарекуваат уште и *врски помеѓу деловите во склопот*, дава низа предности:

- *едноставно поставување* на деловите во склопот со одбирање на парови геометриски елементи кои треба да дојдат во допир,
- според зададените допири, системот сам ја пресметува положбата и ориентацијата на делот што се вградува, со што е загарантирана *точноста на поставувањето*,
- бидејќи ограничувањата се параметарски, системот сам ги преправа положбите на деловите при менување на мерите на деловите, со цел да ги *запази зададениите врски* помеѓу деловите.

При зголемување на висината на долниот дел на сл. 3.50а, автоматски се поместува делот вметнат во отворот при што системот ја запазува врската помеѓу деловите. Слично, ако отворот се помести во друга положба, автоматски се поместува и делот.



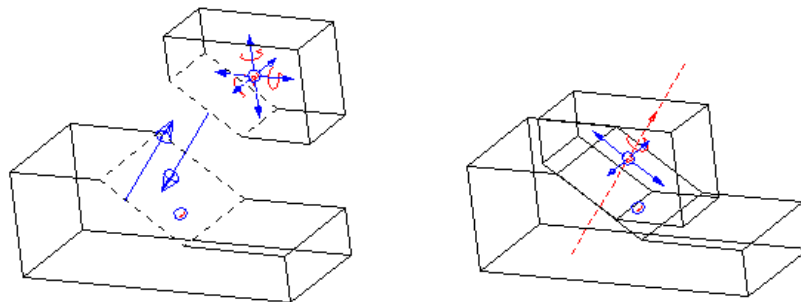
Сл.3.50. Кај деловите поврзани во склоп со параметарски ограничувања на допир и коаксијалност на оските а) со промена на дебелината на плочата б) и промена на положбата на отворот на плочата в), автоматски се движат деловите

Системот за решавање на равенките на ограничувањата овозможува 3Д-ограничувањата да се зададат по било кој редослед. Може да се зададат и ограничувања помеѓу делови кои формираат затворена низа, како што се на пример механизмите. Отворените низи на надоврзани делови се посложени за решавање.

Допир може да се зададе помеѓу пар од основните геометриски елементи: точка, оска, раб, рамна страница, цилиндар, конус и топка. Растојанието помеѓу одбраните геометриски елементи може да биде нула или друга вредност. Пар површини за кои е зададен допир се ориентират така, што допирот да биде еднаков (спротивна насока на нормалите на површините) како на сл. 3.51.

При задавање на допир, како и при задавање на други врски помеѓу деловите, делот кој се вградува губи некои степени на слобода. На делот му преостануваат само оние степени на слобода, кои не придонесуваат за распаѓање

на допирот. На пример, ако се зададе допир на рамни површини на два дела, на дел кој се вградува му преостануваат две слободни трансляции во рамнината и една ротација околу оска нормална на рамнината.

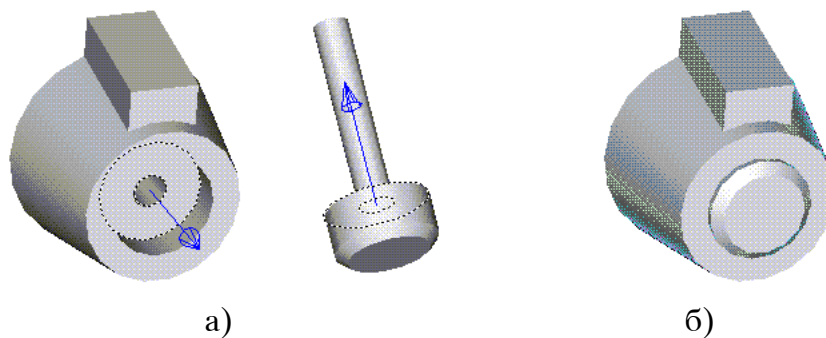


Сл. 3.51. Задавање на допир помеѓу две одбрани рамни површини

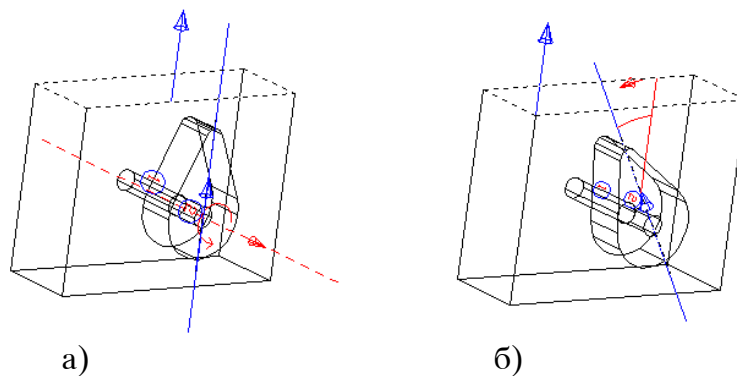
Порамнувањето е слично како допирот, со таа разлика што нормалите на површините се ориентираат во иста насока.

При вметнување се бираат два кружни раба од два дела, а деловите се поставуваат така да кружниците станат концентрични, а нормалите на страниците спротивно насочени, сл. 3.52.

Агол може да се зададе помеѓу рабови, оски или страници од различни делови. На сл. 3.53 аголот е зададен помеѓу површина од едниот дел и оска од другиот дел.



Сл. 3.52. Пред да се вметне црнот (а) и по вметнување на црнот (б)



Сл. 3.53. Ограничување на агол помеѓу рамнина и оска: а)- пред да се зададе агол, б)- по задавање на аголот (кога глумчето е врз прозорецот на симулирањето)

3.8. РАБОТИЛНИЧКИ ЦРТЕЖИ

Работилничките цртежи се изработуваат како проекции и пресеци на 3Д-параметарски модел на дел. Поради тоа, нема потреба да се цртаат проекциите, туку тие треба само да се одберат и да се постават во цртежот. Моделот на делот и работилничкиот цртеж се асоцирани во две насоки, така што промените направени во моделот се вградуваат во цртежот и обратно. За целосно документирање на делот, треба да се прикажат доволен број проекции и пресеци, како и негеометриските информации потребни за изработка на делот. Оските на кружниците и отворите системот сам ги прикажува.

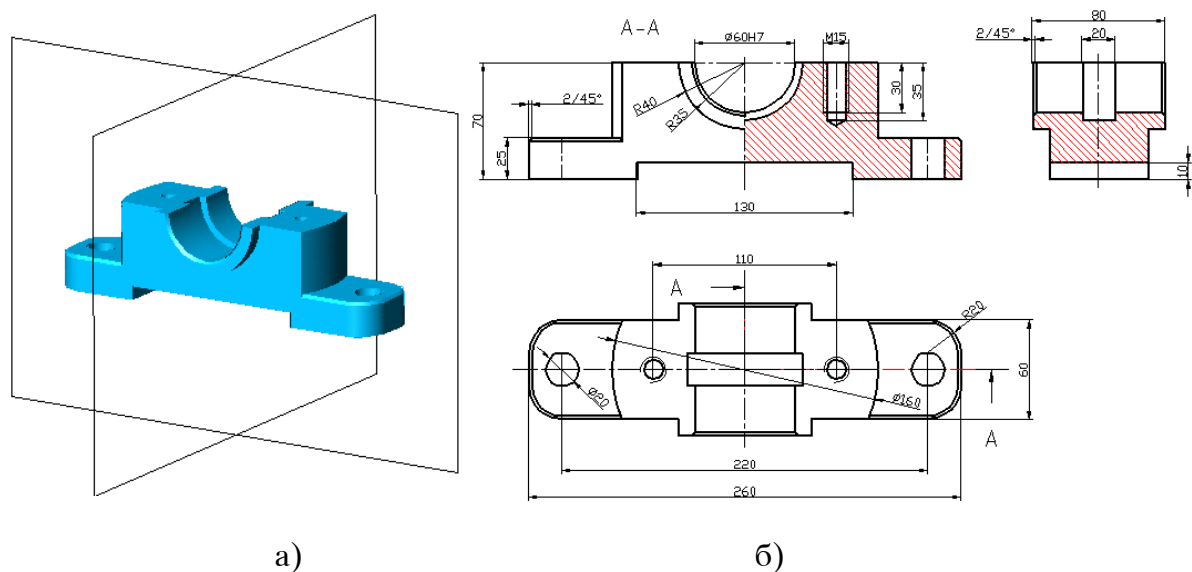
При формирање на проекциите, автоматски се прикажуваат вградените параметарски мери. Мерите автоматски се распоредуваат на цртежот. Бидејќи целокупната геометрија на делот се определува според параметарските мери, со нивното менување, се менува истовремено и моделот на делот и проекциите од работилничкиот цртеж.

Со параметарските системи може да се изработат различни видови проекции: основна проекција, ортографска проекција, изометриска проекција, скратена проекција, помошна проекција, детаљ и експлодирана сцена. Основна проекција се дефинира со избор на насоката од која се гледа делот, а ортогравските проекции се добиваат од основната проекција.

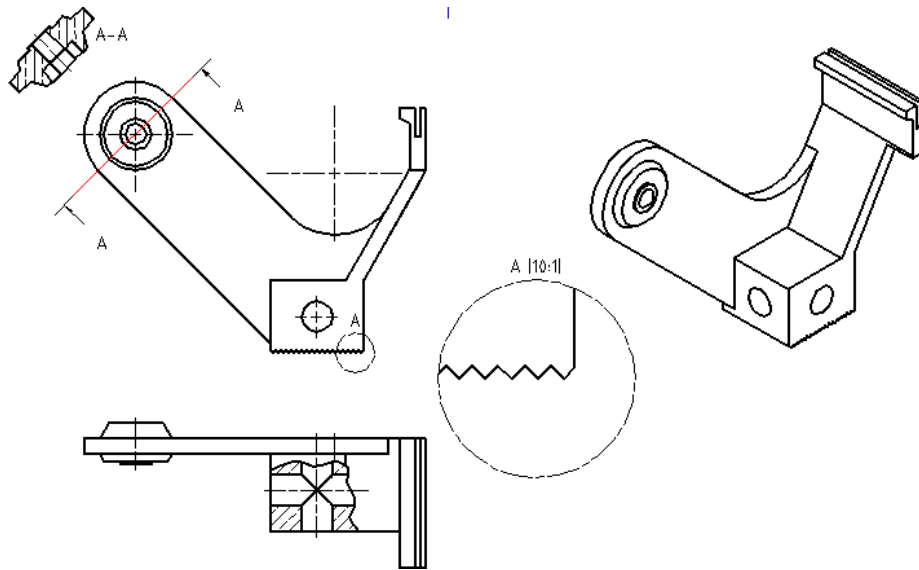
Проекција од дел може да се прикаже и како половински, четвртински, искршен, делумен, специјален, радијален или завртен пресек. При избор на пресек се одбира уште шрафура и име за означување на пресекот.

При изработка на половински или четвртински пресек, делот се сече со работни рамнини кои се симетрични рамнини за делот. На сл. 3.54а е прикажана модел на дел заедно со две работни рамнини, кои се употребени за дефинирање на четвртински и половински пресек сл. 3.54б. За дефинирање на искршен или завртен пресек доволно е да се нацрта параметарска пресечна линија, а програмот сам го формира пресекот.

На сл. 3.55 е прикажан дел претставен со две ортогонални и една изометриска проекција. Во цртежот се вградени детаљ, делумен пресек и специјален пресек.



Сл. 3.54. Дел со работни рамнини употребени за четвртински пресек



Сл. 3.55. Пресек на склој во кој внатрешниите делови не се пресечени

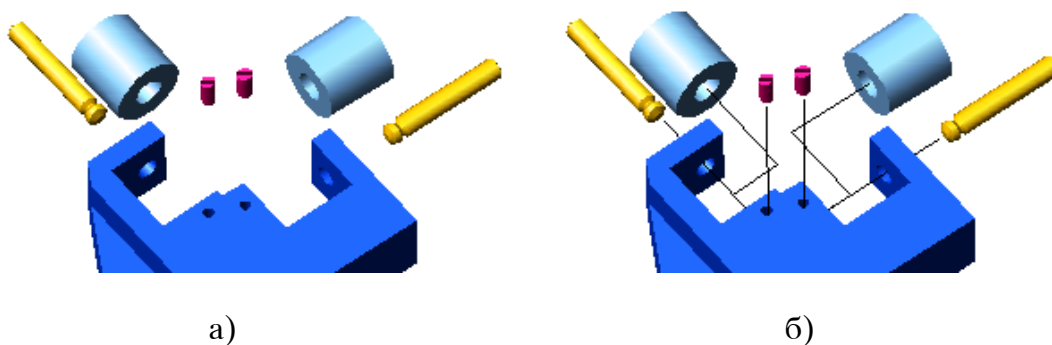
3.9. ИЗРАБОТКА НА СЦЕНИ

Сцените се нагледни цртежи со кои се појаснува структурата на склопот или начинот на монтажа на склопот. Сцените ги прикажуваат склоповите со раздалечени делови, така што јасно се гледа начинот на спојување на деловите. Раздалеченоста помеѓу деловите се задава како број кој се нарекува *сџејен на експлодирање*. Освен раздалеченоста помеѓу деловите, кај сцените може да се менува видливоста на деловите. Сцените се користат и како подлога за изработка на склопни цртежи.

За еден склоп може да се формираат повеќе сцени кои прикажуваат различни потсклопови или различни погледи на склопот. Бидејќи сцените се формирани според моделот на склопот, секоја промена на склопот автоматски се јавува и во сцените.

Формирањето на сцените кај едноставните потсклопови може да се започне со задавање на општ степен на експлодирање за сите делови. Општиот степен на експлодирање, обично, не е подеднакво погоден за сите делови, па затоа може да се зададат поединечни степени на експлодирање за одредени потсклопови и делови.

Кај сцените може да се прикажат и патеки кои го појаснуваат поставувањето на деловите (сл. 3.56б).



Сл. 3.56. Сцена со помесџени делови (а) и со прикажани патеки (б)

3.10. БАЗА НА ПОДАТОЦИ ЗА СКЛОП

Карактеристично за параметарските склопови е што паралелно со формирањето на склопот, програмот ги помни информациите за вградените делови во база на податоци. Секој дел автоматски добива свој број според редоследот на вградувањето во склопот. Според бројот на исти примероци од ист дел вградени во склопот програмот го одредува бројот на парчиња. Други негеометриски информации за деловите се: материјал, стандард, потекло, тежина, габарити и др. Базата на податоци може да се дополни и со други корисни информации.

Врз основа на информациите содржани во базата на податоци за склопот се формира составница, која се вградува во цртежот на склопот. Податоците за поединечен дел од склоп, кои се содржани во базата податоци, соодветствуваат со податоците од составницата, како и со податоците кои се содржат во претставникот на делот во склопниот цртеж (part reference) и ознаката на делот во склоп (balloon).

Преку базата на податоци може да се исклучи прикажувањето на негеометриските информации за одбрани делови кои се прикажани во склопот. Исто така, во базата на податоци може да се внесат информации за делови чија геометрија не се прикажува во склопот. Ако се избрише базата на податоци, автоматски се отстранува составницата и ознаките на деловите во склопот. Информациите придружени на деловите од склопот притоа не се губат.

Базата на податоци автоматски се менува при промена на бројот на парчиња од ист дел во склопот или при промена на бројот за означување на делот во склопот.

3.11. СКЛОПНИ ЦРТЕЖИ

Склопните цртежи содрат проекции и пресеци на склопот. Погледите се формираат со избор на насока или како ортогонални проекции. Пресеците се дефинираат со избор на работна рамнина или со цртање на пресечна линија. Склопните цртежи треба да овозможат прегледно прикажување на повеќе делови и често пати се прикажуваат во пресек.

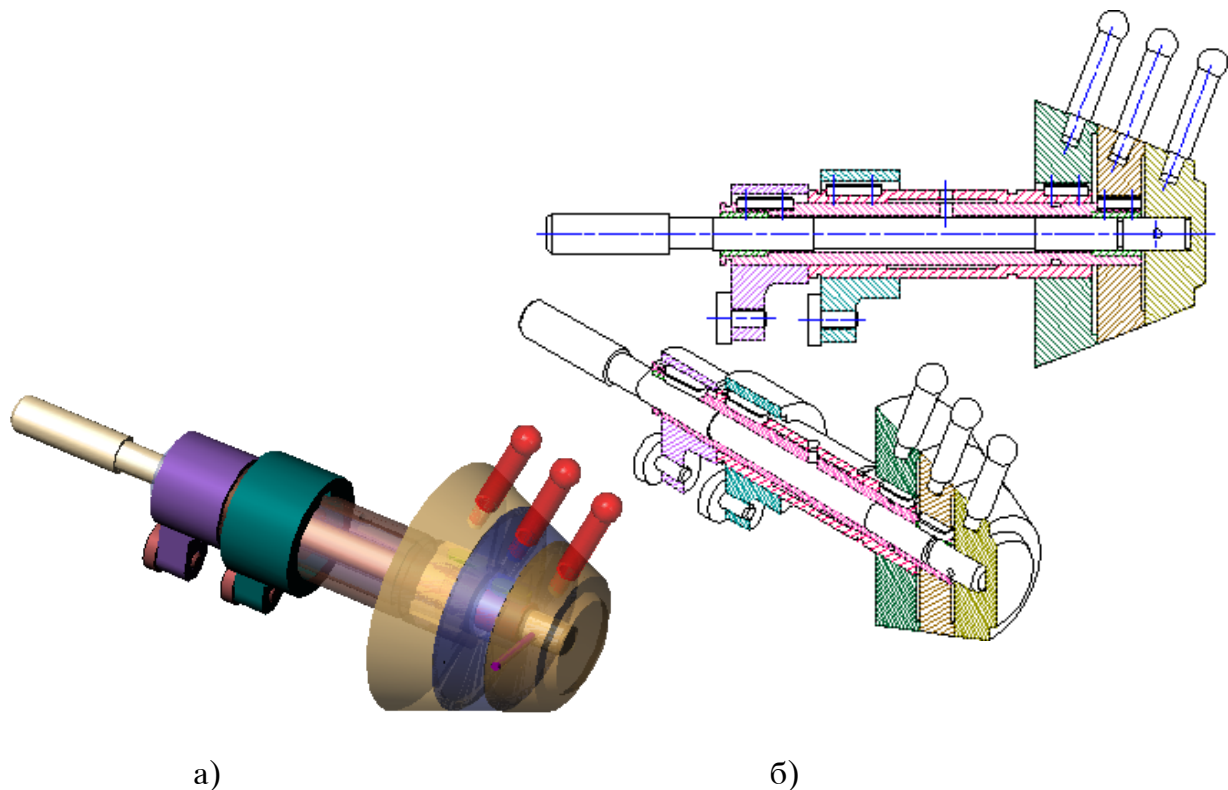
За да се разликуваат деловите еден од друг, им се доделуваат различни шрафури (сл. 3.576). Освен тоа, при цртање на пресек на склоп, деловите кои немаат шуплини или се поставени централно во склопот, обично, не се прикажуваат пресечени, туку цели. Тоа се постигнува со исклучување на пресекот за поедини делови. На сл. 3.576 од прикажување на пресек се исклучени: оската, клиновите, рачките и др.

Ознаките на деловите во склопот овозможуваат да се идентификуваат деловите според нивниот реден број во склопот. Ознаката на дел се состои од показна линија со или без стрелка и симбол за ознака на делот со број. Ознаката на делот одговара на редниот број на делот во базата на податоци.

Бројот на делот одговара на редоследот на вградување на делот во склопот. Редниот број на делот во склопот може да се преомени.

Склопните цртежи содржат една или повеќе составници. Во составницата се прикажуваат информациите за деловите вградени во базата на податоци. Промените направени во базата на податоци автоматски се прикажуваат во

составницата. Во составницата на цртежот не мора да се прикажат сите информации содржани во базата на податоци, туку само одбран дел.



Сл. 3.57. Модел на склоп (а) и ѝрѝоѓонална и изомеѝриска ѝроекција каде центѝрално ѝосѝавениѝе делови не се ѝрикажуваат во ѝресек (б)

3.12. АНАЛИЗА НА СКЛОП

Вообичаени алгоритми за анализа на склоповите кај параметарските моделери се: проверка на задир при мирување помеѓу делови од склоп, проверка на задир при движење на механизам, пресметка на волуменските својства на склоп или дел, моделирање на склоп со реални мери со цел да се утврдат реалните зјаеви и преклопи во склопот, како и анализа на осетливоста на мерната шема.

Со ѝроверкаѝа на задир може да се одреди кои делови меѓусебно се преклопуваат во склопот. Со оваа контрола се проверува дали може да дојде до проблеми при монтажа на деловите во склоп поради некоректни мери на деловите. Деловите од склопот за кои се проверува задирот можат да бидат со номинални мери или со реални мери во рамките на зададените толеранции. Ако е пронајден задир, програмот ги јавува паровите на деловите кои го формираат задирот.

Кај поновите параметарски системи, склопот може да се анимира со дефинирање на движење на погонски член. Притоа може да се провери дали доаѓа до задир ѝомеѓу деловиѝе ѝри движење на механизмоѝе.

Волуменски својсѝва на дел или склоп се: волуменот, тежиштето, инерцијалните моменти и положбата на главните оски. Пресметаните податоци програмот ги прикажува и ги запишува во датотека.

Дел за кој се зададени толеранции на параметарските мери со толеранции, може да се прикаже како 3Д-модел изработен според максимални, минимални или номинални големини на мерите. Моделирање на деловите *со мерки во рамките на толеранциите* (реални мери) е особено важно при проектирање на патеките за НС- обработка. Моделите на деловите изработени според реални мери, се применуваат и за одредување на реалните зјаеви и преклопи помеѓу деловите во склопот.

Параметарските модели овозможуваат и *анализата на осетливоста* на мерната шема (sensitivity analysis). Оваа анализа му помага на конструкторот да ги одреди параметрите кои имаат најголемо влијание на отстапувањето на мерите за критичните зјаеви или преклопи помеѓу деловите во склопот. Со оваа анализа можат да се добијат насоки за промена на начинот на задавањето на мерите (котирањето) или за промена на големините на толерантните полиња.