

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Основи конструисања

Број индекса: 42/2017

Сара Д. Алексић

**Конструкција калупа за ливење металних
делова**

-завршни рад-

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Ненад Марјановић, ред. проф. - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- прикаже основне информације о ливењу и моделима за ливење,
- прикаже правила конструисања машинског дела за одливање,
- изврши поделу и опише елементе модела за ливење и
- изврши прорачун и конструкцију машинског дела до избору.

Препоручена литература:

- [1] Група autora: *Ljevački priručnik*, Savez ljevača Hrvatske, Zagreb, 1985.
- [2] Марјановић Н., Јовичић С.: *Основи конструисања*, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2018.
- [3] Wlodawer R.: *Gelenkte Erstarrung von Gußeisen*, Giesserei Verlag GMBH, Düsseldorf, 1992.

Крагујевац, септембар 2019.

Ментор:
Др Ненад Марјановић, ред. проф.

Садржај

Table of Contents

1. Увод.....	5
2. Конструисање одливака	7
3. Конструкција модела за израду калупа	11
3.1 Конструкција нахрањивања одливака	15
3.2 Конструкција уливних система.....	19
3.3 Конструкција базена са преливом, чаше, левка и спуста	22
4. Калупи за ливење	27
4.1 Поступци са једнократним калупом	29
4.2 Језгра.....	31
4.3 Калупна мешавина	33
5. Прорачун и конструкција носача кочница	35
6.Закључак	41
7.Литература.....	42

Summary:

The subject of this paper is to present the construction of the casting model through the characteristics, advantages, and disadvantages in obtaining healthy castings. A brief overview of the history of casting development, the division of the basic elements of the pattern, as well as the basic rules in the construction of the pattern for casting is given. This paper aims to give in one place the characteristic chapters for obtaining the desired series with a minimum number of spoilage castings. The forms have been adapted for the basic calculation and have been empirically verified in practice. Based on the given conditions, the calculation and design of 3D patterns for casting brake carrier were performed. 3D patterns of core and core mold are also represented and described.

Keywords: casting, pattern, mold

Тема овог рада је да се конструкција модела за ливење прикаже кроз карактеристике, његове предности и недостатке за добијање здравих одливка. Дат је и кратак преглед историје развитка ливења, подела основних елемената модела, као и основна правила при конструкцији модела за ливење. Циљ овог рада је да се на једном месту дају карактеристична поглавља за добијање жељене серије са минималним бројем шкарт одливка. Обрасци су прилагођени за основни прорачун и емпиријски су проверени у пракси. На основу датих услова одрађени су прорачун и пројектовање 3D модела за ливење носача кочнице. 3D модели језгра и језгреника су такође заступљени и описани.

Кључне речи: ливење, модел за ливење, одливак

1. Увод

Ливење је уметност и наука због њиховог преобликовања метала ради даље употребе. Представља поступак обраде метала без скидања струготине. Због појављивања у природи у чистом облику, први познати метали били су злато, сребро и бакар. Бакар, олово и калај убрајају се у класичне или праисторијске метале. Податак о примени бакра у египту датира од 4500. године пре нове ере, олова од око 3000 године п.н.е. као и бронзе, а калаја од 2500. године п.н.е. Циљ израде одливака је процес да се од сировине добије одређен производ уз употребу потребног броја физичких, хемијских и физичко-хемијских трансформација, у оној мери да је производ најпогоднији за даљу употребу. Ретки су записи који могу да дају приказе и објашњења о тадашњем технолошком знању. Касније је и једини Галилеј описао ливење топова и узроке ломова, као и прорачуном чврстоће. Око 1660. познати физичар *R. Hooke* проучава везу између напрезања и деформације. Из свега изложеног ливење преставља технологију обликовања металних предмета ливењем растопљеног метала у урађене калупе помоћу модела, да би се тако, после хлађења добио одливак. Погодан је код израде машинских делова чији је облик компликован или се не могу на други начин изградити.

Историја и развој ливења могу се пратити до јужне Азије, где су се у великој мери одливале статуе и реликвије, најчешће од легуре бакра обложене оловом. Индија спада у једну од првих цивилизација која је користила ливење за масовну производњу новчића. Прво су се користили новчићи од сребра, али даљим напретком прешло се на легуру бакра. Нова технологија је представљала вишеслојни калуп са шаблонима за новчић који се може сложити. Калупи су постављани једни на друге у глиненом цилиндру где би се растопљени метал сипао кроз центар. Овим поступком се истовремено могло произвести сто новчића. Производња одливака се дуго времена заснивала на емпиријским правилима, односно на пробама, покушајима и грешкама због недовољног знања о процесима који се дешавају током ливења. Сада је познат широки спектар сигурних поступака приликом производње одливака. Ливење је данас врло конкурентан и ефикасан производни процес. Поступак ливења се изводи прво израдом модела од дрвета или метала. На основу њега се прави калуп, који представља шупљину у песку или неком другом материјалу. На крају се у калуп улива растопљени метал чијим се хлађењем добија одливак.

Појам конструкције калупа за ливење металних делова подразумева израду модела (позитива) како би површина калупа обликовала шупљину (негатив) у коју се улива растопљени материјал и добио жељени облик одливка. Код металних делова који имају унутрашње шупљине, а геометрија не дозвољава да се као позитив извучи из пешчаног калупа, морају се радити додаци моделу позитива. Кроз историју израде модела калупа за ливење металних делова, коришћени су различити материјали. У почетку су се користили: глина, дрво, гипс, лако обрадиви метали који су допустили ручну израду. У новије време користе се вештачки материјали пластике и смоле као што је уреол. Додаци су обично ослонци за језгра-марке на којима се ослања пешчано језгро, добијено из кутије за језгро (у овом случају негатив), те тако после уливања растопљеног метала добијамо позитивне унутрашње површине жељеног комада.

Све вертикалне површине морају имати закошење у правцу извалачења модела из песка. У додатке израде се убрајају и делови који се брзо хабају због упуцавања. То су обично попречна и танка ребра, испупчења и задебљања. Код кутија језгреника се посебно издвајају делови који у језгру формирају канале за одвод гасова. Такође, и делови који формирају језгру референтну тачку помоћу које ће робот узимати из шаржера и улагати у пешчани калуп. Додаци се израђују од материјала отпорних на хабање, а конструишу се као брзо, лако изменљиви. Из горе наведених захтева и опреме коју поседује наручилац,

траба конструисати алат за израду плоча (шаржера) која је негативна слика ослонца за језгра код модела или идентична доњег пешчаног калупа а служи за одлагање језгара и за транспорт до робота.

У алат и прибор за извођење ливења спадају:

- модел,
- моделна плоча,
- калупници,
- језгреник,
- калупни и језгрени шаблони,
- модел уливног система,
- горња половина калупа,
- доња половина калупа,
- језгро,
- уливни систем,
- одушци и
- хранитељ.

Пешчани калупи се могу израђивати ручно или машински. Ручна израда калупа може бити у калупницима, на поду ливнице или помоћу шаблона. Шаблон представља даску са металним ојачањем које одговара облику калупа који се израђује. Машинска израда калупа представља машине код којих се песак у калупницима збија тресењем, пресовањем, сабијањем и набацивањем. Машинско калуповање се примењује код серијске производње када се захтева да сви одливци имају тачне димензије, глатку површину и мање трошкове израде.

2. Конструисање одливака

У односу на друге технологије производње, израда машинских делова ливењем пружа конструктору велике предности у погледу слободне обликовања, уштеде материјала и постизања велике производности. Да би се ове предности искористиле потребно је да конструктор темељно познаје технологију ливења и материјала или да приликом конструисања тесно сарађује са познаваоцима истих, јер квалитет и поузданост одливка зависе од облика одливка. При изради неког новог машинског система, прво се израђује прототип који служи испитивању рада машинског система. Затим се врши припрема производње, где се одређени делови реконструишу према одабраној технологији производње, која зависи од потребног квалитета, величине серије, расположиве опреме итд. Свака технологија производње захтева и различиту конструкцију делова. Код машинске обраде је због смањења обраде дозвољено нагомилавање масе, као и заваривање ребара ради укрупњавања конструкције, док би се код ливења добили одливци малог квалитета и повећаних трошкова.

Први задатак конструктора је да изабере материјал и технологију ливења којом ће се одливак изградити. Одабир материјала и технологије ливења се врши на основу захтева квалитета, величине серије и сл. У (табели 2.1) и (табели 2.2) дате су неке од легура са карактеристикама и поређења различитих врста ливења.[1]

Табела 2.1 Избор легура за ливење [1]

Материјал	Предности	Примери употребе
Сиви лив	Врло ниска цена, задовољавајућа тврдоћа, чврстоћа и крутост, велика затезна чврстоћа, добра способност пригушивања, добра ливачка својства за врло сложене облике	Канализацијске цеви, решетке и арматура, кућишта редуктора и компресора, радијатори, клипни прстенови
Нодуларни лив	Ниска или средња цена, много већа чврстоћа са добром жилавошћу, добра отпорност на хабање и корозију	Коленасто вратило, пољопривредни машински делови, пумпе, вентили, арматура
Нисколегиран и челични лив	Висока граница еластичности и чврстоће, добар однос чврстоће и масе, добра жилавост, добра заварљивост, осредња цена	Делови за возила и авионе, ваљци за ваљаонице, кућишта ковачких преса, куке дизалица, калупи
Високолегиран и челични лив	Добра отпорност на корозију, поготову према морској води, добра електрична својства, добре механичке карактеристике	Млазнице турбина, пумпе, вентили и лопатике, чељушти дробилица

Конструкција одливака треба да буде таква да омогући слободно пуњење шупљина калупа течним металом, што значи да се мора водити рачуна о довољним дотичним пресецима и равномерној расподели метала у калупу. У случају танких зидова постоји опасност од хлађења метала још у току поступка ливења чиме се спречава даље испуњење калупа.

Нагле промене правца и брзине кретања истопљеног метала у калупу су такође неповољне и треба их избегавати. Најчешћа грешка код одливака је стварање шупљина у унутрашњости и напрслина на површини услед смањења површине приликом хлађења.

Табела 2.2 *Поређења различитих врста ливења [1]*

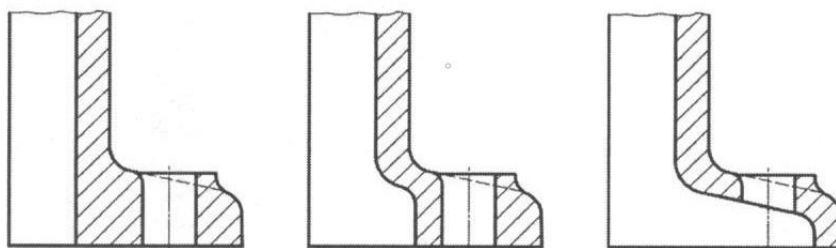
	Ливење у песку	Ливење у кокилама	Ливење под притиском	Шкољкасти лив	Прецизни лив
Релативна цена одливка у серијској производњи	ниска	ниска	најнижа	средња	висока
Релативна цена одливка у поједи- начној производњи	најнижа	висока	највиша	висока	висока
Најмања дебљина зида, <i>mm</i>	2,5÷5,0	3,0÷5,0	0,5÷2,0	2,0÷5,0	0,6÷1,5
Храпавост површине, <i>μm</i>	2,5÷25,0	3,0÷5,0	0,75÷7,5	2,5÷7,5	0,75÷7,5
Материјал одливка	нема ограничења	<i>Cu, Al, Mg, Zn</i> легуре	<i>(Cu), Al, Mg, Zn</i> легуре	нема ограничења	нема ограничења
Маса одливка, <i>kg</i>	нема ограничења	0,5÷250	0,05÷100	0,1÷50	0,005÷2,5
Просечна маса одливка, <i>kg</i>	0,5÷25,0	0,5÷5,0	0,05÷0,5	0,5÷30,0	0,1÷0,5
Могућност промене конструкције у току производње	најбоља	слаба	најслабија	добра	добра

Затим следи конструкција модела где треба решити основне карактеристике калупа, као што су положај подеоне равни, смештај уливних система и хранитеља, као и конструисати тако да смер хлађења одливка буде ка хранитељу. Ово је посебно важно код ливења у пешчаним калупима, где материјал калупа служи као изолатор, а облик одливка одређује његово хлађење. Хранитељи морају бити смештени на плоче модела са којих се могу лако уклонити. За време хлађења одливка његове димензије се значајно мењају, што може изазвати напрезања или пукотине ако калуп није довољно флексибилан или су одливане површине разведене. [1]

Тачност димензија одливка зависи од изабране технологије ливења. Одливци тачнијих димензија добијају се у калупима са бољим механичким особинама. Тако се у металним калупима добијају одливци тачнијих димензија него у пешчаним калупима. Тачност

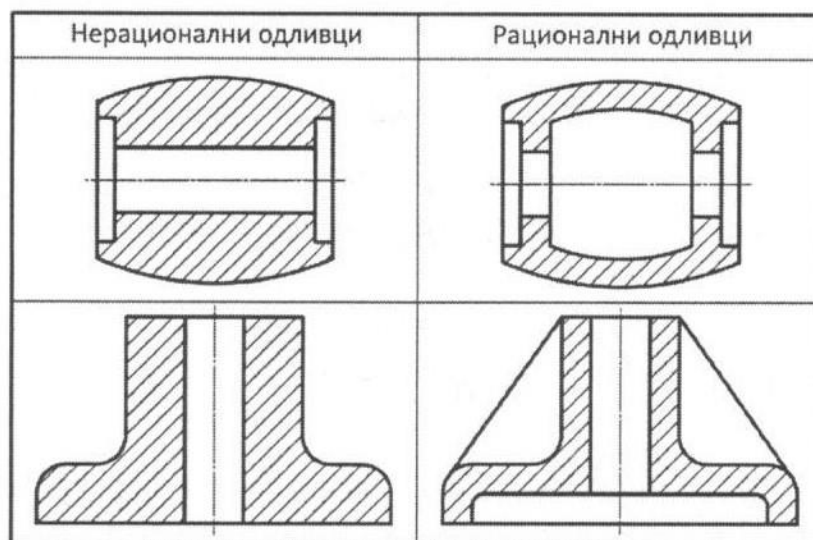
димензија је важна, јер се тиме смањује утрошак материјала, трошкови машинске обраде, а повећава се и производност. Код одређивања димензија одливка треба узети у обзир и додатке за машинску обраду одливка. [1]

Механичка својства за исту врсту материјала мењају се према маси одливка, дебљини зидова и одабраној технологији ливења, што ствара посебне потешкоће конструктору при конструисању одливка. Добра технологичност одливка постиже се исправним смером хлађења одливка, од места најмање масе до хранитеља. То се постиже конструисањем одливка једнаке дебљине зидова. При конструисању одливка треба водити рачуна да нема нагомилавања масе која би могла да проузрукују усахлине и дефекте након хлађења одливка, (слика 2.1). Очвшћавање се врши по слојевима, и то тако да се најпре хладе тањи спољашњи слојеви. Идући ка унутрашњости хлађење је теже, а очвшћавање је спорије. Главна маса се хлади споро и има велико скупљање. Као последица овог процеса појављују се шупљине које смањују активни пресек одливка у односу на пројектовани, а тиме и на његову чврстоћу. Код танких зидова постоји опасност од хлађења метала још у току поступка ливења чиме се спречава даље испуњење калупа. Најчешћа грешка код одливака је стварање шупљина у унутрашњости и пукотина на површини услед смањења површине приликом хлађења.[1]



Слика 2.1 Уклањање сувишног материјала[2]

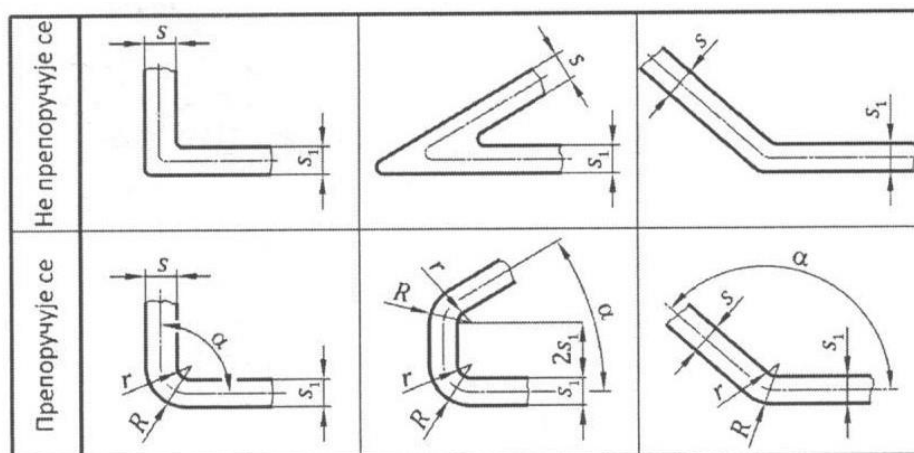
Исто тако са повећањем дебљине зидова смањује се његова чврстоћа. Чврстоћа спољашњих површина зида се разликује од чврстоће унутрашњости. Са повећањем дебљине зида и разлика се повећава, зато је потребно конструисати одливке рационалног облика, (слика 2.2).



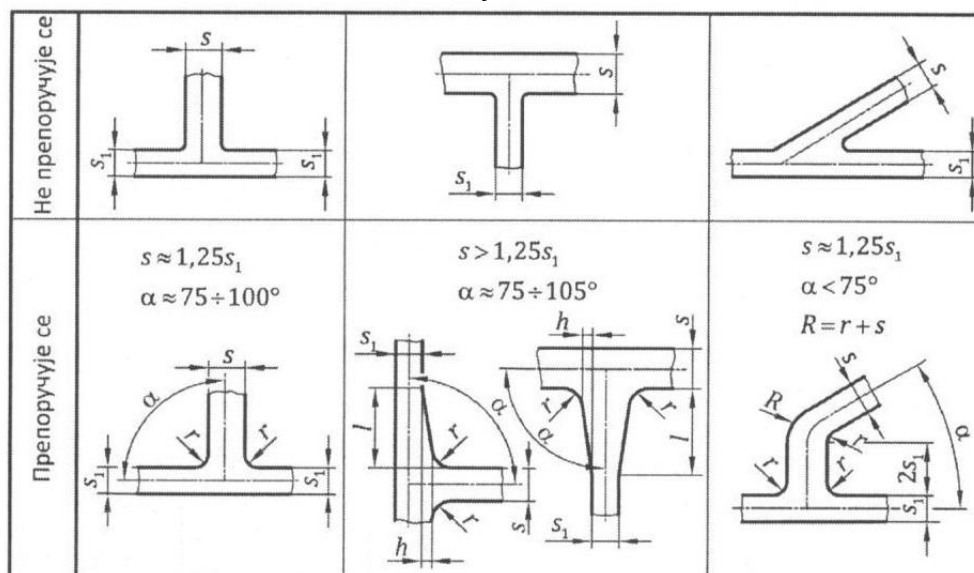
Слика 2.2 Рационални облици одливка [2]

Примена ребара ради обезбеђивања крутости и чврстоће одливка није пожељна, а као замена ребара могу се користити, на пример омега-профили. С обзиром да је данас заступљенија примена ребара, онда треба водити рачуна да дебљина ребра буде око 20%

мања од дебљине главних зидова. Чворишта облика X, Y, V треба заменити облицима T и L. На местима спајања зидова различитих дебљина, радијус заобљења мора бити већи од дебљине тањег зида. За добијање одливка што бољег квалитета треба тежити да однос дебљине зидова буде једнак. Правилна спајања зидова одливка приказана су на (сликама 2.3 и 2.4)

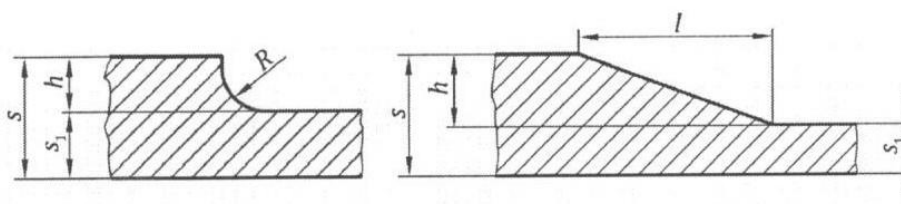


Слика 2.3 Угаона спајања зидова одливка [2]



Слика 2.4 T спајања зидова одливка [2]

Прелази са једне дебљине зида на другу требају бити постепени, преко нагиба или одговарајућег заобљења, (слика 1.5). Прелаз у облику радијуса користи се при односу дебљина зидова $S/S_1 \leq 2$. Нагиби се изводе за односе дебљина зидова $S/S_1 > 2$ при променљивим и ударним оптерећењима. [2]



Слика 2.5 Извођење прелаза код зидова одливка [2]

Сви углови морају бити заобљени да се не би створили услови за појаву пукотина. Треба избегавати ливење великих равних хоризонталних плоча, јер се на горњој површини лако сакупљају нечистоће и јављају улегнућа.

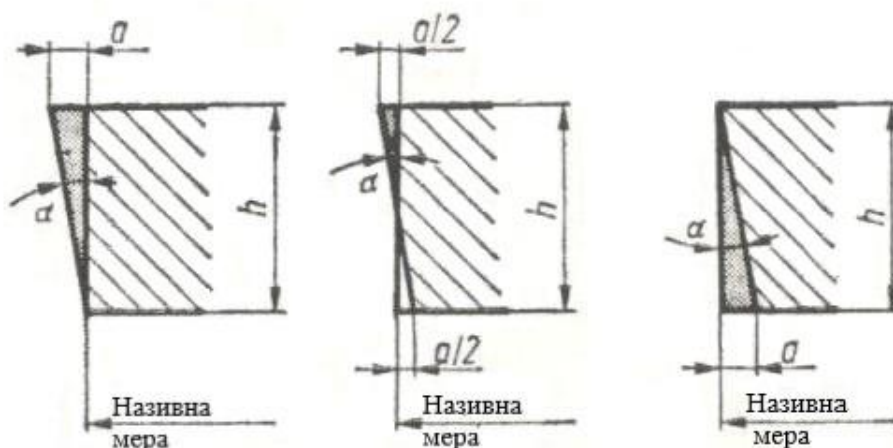
3. Конструкција модела за израду калупа

У ливењу, модел представља реплику дела за ливење и који се користи за припрему шупљине (калупа) у коју ће се растопљени материјал сипати током процеса ливења. Модели који се користе за ливење песка могу бити израђени од дрвета, метала, пластике или других материјала. Пре почетка израде калупа, за добијање здравог одливка, потребно је урадити анализу нарученог дела за израду ливењем, то је посебно важно код квалитетних ливова. Циљ ове анализе је правилан избор решења израде одливка или могућност прилагођавања конструкције дела правилном избору решења. Конструкција одливка погодног за ливење осигурава:

- могућност приступа местима одливка која треба нахранити,
- равномерне дебљине зидова,
- конструкцију одливка без оштрих прелаза,
- могућност очвршћивања без напуклина и
- минималан број масивних чворова.

Конструкција модела за израду калупа је тесно повезана са конструкцијом одливка, а морају се испоштовати због захтева купца и технологије израде. У те повезаности спадају:

- Избор врсте лива (материјала) у које спадају механичке вредности,
- Квалитет површине. Да ли је могуће добити квалитет површине ливењем или механичком обрадом, па са тим у вези и додавање материјала на моделу,
- Облик - да ли је могуће поделити модел у једној или више равни. Да ли је могуће отворе, удубљења која су вертикално постављена на раван поделе одлити без језгара. Код израде мокрих калупа, отворе и удубљења је могуће израђивати без језгара само ако је њихова дубина 75% од димензије отвора (искуствена норма) и
- Димензије - скупљање материјала приликом хлађења, усахлине на чвориштима и тиме губљење димензија. Закошења на вертикалним површинама у односу на поделу модела од називне мере могу бити плусу, у минусу или подељена пола-пола (слика 3.1). [1]



Слика 3.1 Закошења на вертикалним површинама у односу на поделу модела од називне мере [1]

Закошење вертикалних површина омогућују лакше извлачење модела из калупа. Приликом конструкције закошења треба узети у обзир следеће:

- Начин израде калупа (ручно, машински),
- Врста материјала од којег се израђује модел,
- Врста калупа (једнократни, виšekратни, суви поступак и мокри влажни песок),

- Величина одливка и
- Захтеве купца.

Ако закошења нису дефинисана жељом купца примењују се норме којима су дефинисана. Савремене машине за израду калупа као и савремени нови материјалии за израду модела омогућавају врло мала закошења. У (табели 3.1) дате су вредности закошење у односу на висину страница. Параметри у табели одговарају слици 3.1.

Табела 3.1 Закошења за моделе [1]

Висина закошења <i>h, mm</i>	Машинско калупљење		Ручно калупљење	
	Пројекција <i>a, mm</i>	Угао	Пројекција <i>a, mm</i>	Угао
до 20	1,0	3°	1,0	3°
>20...50	1,0	1°15'	1,5	1°30'
>50...100	1,5	0°45'	2,0	1°15'
>100...200	2,0	0°30'	2,5	0°45'
>200...300	2,5	0°30'	3,0	0°30'
>300...500	2,5	0°30'	4,0	0°30'
>500...800	-	-	5,0	0°30'
>800...1000	-	-	6,0	0°30'
>1000...1200	-	-	7,0	0°30'

За висину закошења преко 1200 *mm* вредности пројекције и угла се утврђују споразумно.

Додаци за машинску обраду се уцртавају и конструишу узимајући у обзир следеће:

- Технички захтев купца,
- Начин израде одливка,
- Класа тачности одливка,
- Квалитет лива (сиви лив, нодуларни лив, челични лив итд.),
- Положај одливка у калупу (само у доњем, само у горњем и у доњем и у горњем) и
- Величина одливка.

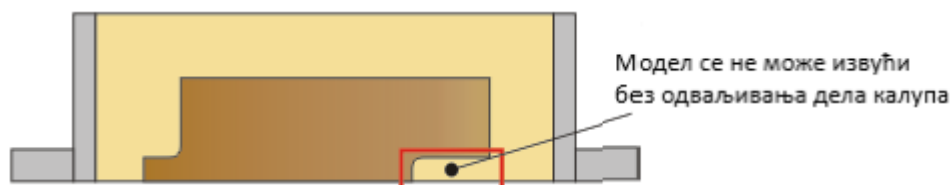
Додаци за машинску обраду (Табела 3.1) на одливцима обично су дефинисани међународним нормама (*EN, DIN, ASTM* итд.) Поред тога купац може имати своје посебне захтеве. Приликом конструкције додатака за обраду, ивице се морају заоблити, што је такође прописано нормама. Обично је то 2/3 од додатка за обраду.

Табела 3.1 Додатак за обраду одливка до 1000 *kg* и дебљине зидова до 50 *mm* (*DIN*) [1]

Врста лива	Положај површине у калупу	Подручје називних мера у односу на највећу спољашњу меру одливка, <i>mm</i>					
		до 50	>50... 120	>120... 250	>250... 500	>500... 1000	>1000... 2500
Сиви лив	доле, страна	2	2	2,5	2,5	3,5	4
	горе	2,5	2,5	3	3	4,5	5
Нодуларн и лив	доле, страна	2	2,5	3	3,5	4	6
	горе	2,5	3	4	5	7	8

Подела модела и калупа треба се извести тако да испуњава следеће услове:

- Израдити што једноставнији модел и калуп, али да у потпуности буду остварене димензије одливка, (слика 3.2). Овај услов ће бити испуњен ако се избегне више подеоних равни модела и калупа,
- Положај одливка у калупу треба бити такав да се осигура добијање најбољег квалитета (дефинисаних) површина и
- Остварити најнижу цену и најкраћи рок израде.



Слика 3.2 Погрешно постављена подеона раван [3]

Подеона раван дели модел по његовом највећем пресеку како би се оба његова дела могла извући из калупа.

Број језгара и величине њихових ослонаца моделе треба тако конструисати да се број језгара сведе на минимум или ако је могуће избегне њихова примена.

Код конструкције модела за израду калупа, такође је важно омогућити усмерено (прогресивно) очвршћивање. Овај проблем се првенствено решава конструкцијом одливка, ако је могуће. У случају да то није могуће решава се конструкцијом модела са грејним или хлађеним телима. Грејна тела се постављају на мањим пресецима (тањим) како би им повећали термички модул, тј. да материјал у тањем зиду буде течан онолоко дуго колико је у дебљем, да би се тањи и дебљи зидови истовремено и под истим условима очвршћивали. Грејна тела се постављају директно на површину ливеног дела коме желимо да продужимо време очвршћивања, односно повећамо термички модул. Она су практично јако добри изолатори направљени од изолационих материјала, од истих од којих се праве изолирани и егзотермни хранитељи. Хлађена тела (хладилнице) се постављају на већим пресецима са циљем смањења термичког модула. То смањење треба да буде тако да термички модул већих пресека буде нешто већи или време нешто дуже од времена на тањим пресецима, па се опет добија усмерено (прогресивно) очвршћавање. Ефекат хладилнице зависи од њене величине и контактне површине коју хлади. Контактна површина представља површину хладилнице која је у калупу приликом уливања у контакту са растопљеним металом. Када је нужна већа контактна површина, а није могуће добити је због конструкције одливка или није могуће због конструкције калупа, онда се контактна површина повећава браздањем (попречни пресек бразде троугао максималне дубине 3 mm) али се онда морају испупчене бразде обрађивати – брусити што несумњиво повећава трошкове производа. Дебљина хладилнице просечно се узима 0.7-0.9 од дебљине зида. Постоје два начина коришћења хладилница, први под именом металне хладилнице и други неметалне хладилнице. Металне подразумевају контакт површине хладилнице са растопљеним материјалом у калупу. Неметалне, када између површине хладилнице и одливка у калупу је слој песка или комад графита па тако индиректно хлади жељено подручје. Такође, наведене хладилнице се користе и код већих комада и једномерних зидова како би се омогућило да се не разбије дужина засићења прогресивног очвршћења (табела 3.3). Дужина засићења је дужина компактно очврснутог одливка без икаквих грешака порозитета и усахлина. Дужина засићења зависи од хемијског састава и дебљине, тако на пример: плоча дебљине 1 cm ширине 10 cm и дужине 20 cm моћи ће се заситити од крајева у дужини као што је дато у (табели 3.3) остатак 2 пута од датих вредности SW, у средини биће незасићен тј. са порозитетом или усахлинама. [4]

Степен засићења се истрачунава према следећим формулама:

Еквивалент угљеника за нодуларни лив $CE = C\% + 0,31 \cdot Si\%$

Степен засићења за нодуларни лив $Sc = CE / 4,3\%$

Еквивалент угљеника за сиви лив $CE = C\% + 1/3 \cdot (Si\% + P\%)$

Степен засићења за сиви лив $Sc = CE\% / 4,3\%$

Пример: у гвожђу је : угљеник $C = 3.55\%$, Силицијум $Si = 1.90\%$, Фосфор $P = 0.11\%$

Према формули за сиви лив биће: $CE = C\% + 1/3 \cdot (Si\% + P\%) = 3,55 + 0,33 \cdot (1,9 + 0,11) = 4,21\%$

Степен засићења је $Sc = CE\% / 4.3\% = 4.21 / 4.3 = 0,97\%$

Затим се из (табеле 3.3) узимају вредности дужине засићења према степену засићења.

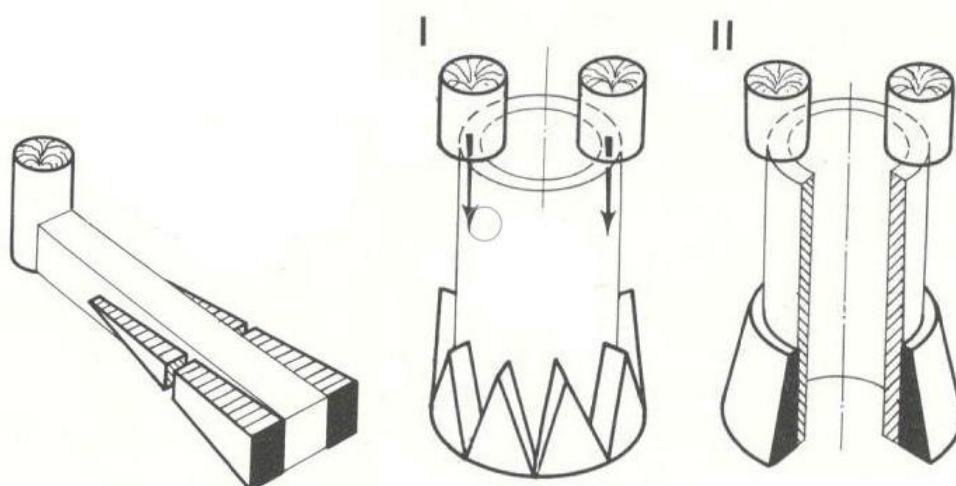
Табела 3.3 Дужина засићења по материјалу (хемијском саставу) [5]

Материјал	Степен засићења, SC	Дужина засићења, SW
Нодуларни лив (NL)	0.84	6
	0.94	6.5
	1.00	7
	1.02	9.0
Сиви лив (SL)	0.7	7.0
	0.8	8.0
	0.9	9.0
	1.0	10.0

Дужина засићења зависи од:

- дебљине одливка,
- врсте материјала и
- хемијског састава истих.

Скоро сви конструктори модела за калупе користе хладилице по Пелинију, (слика 3.2).



Слика 3.2 Хладилице и грејна тела по Пелинију (W.S. PELLINI) [4]

За коришћење хладилица примењују се два начина:

- Први-конструише се на моделу и калупу (доња половина) изданак идентичне величине као хладилица са толеранцијом као за језгра да би се у пешчаном отиску, калупу, могла уложити хладилица и
- Други-да се на одређеном месту које треба хладити стави хладилица или грејно тело па се онда све обложи песком (само за јединичне комаде и речне производње калупа). [5]

3.1 Конструкција нахрањивања одливка

Један од врло важних чинилаца у производњи металних делова је разумевање запреминских промена које се дешавају током хлађења (скупљање и скрућивање). Познавање ових промена омогућује правилну конструкцију система нахрањивања и система уливања. При пуњењу калупне шупљине растопљени материјал долази у контакт са калупним материјалом (песком). Температура растопљеног материјала постепено опада због одвођења топлоте калупног материјала. Када растопљени материјал достигне ликвидус температуру (најнижа тачка температуре растопљеног материјала) почиње скрућивање, односно фазно претварање из текућег у чврсто стање. Током скрућивања, због повећања густоће, долази до уграђивања атома у кристалну решетку, па тиме и промена запремине односно скупљања.

Приликом хлађења одливка, у калупу после уливања, смањује се запремина одливених делова. Последица смањења запремине (скупљање) су усахлине на местима која су се последња скрућивала док је материјал у текућем и тестастом стању, док скупљање одливка у скрућеном стању има за последицу настанак унутрашњих напрезања.

- Скупљање у течном стању, подразумева смањење запремине растопљеног материјала од температуре коју има у калупу по завршетку уливања, до ликвидус температуре, тј. почетка скрућивања. Ово скупљање се у текућем стању назива примарно,
- Скупљање током скрућивања се назива скупљање током хлађења од ликвидус температуре до солидус температуре и
- Скупљање у чврстом стању, односно скупљање солидус температуре до собне температуре. Ово скупљање се назива секундарно.

Уопштено скрућивање одливка почиње од зидова калупа према унутрашњости одливка. Одвођење топлоте спољних површина, оштрих ивица и тањих делова је брже него код унутрашњих и масивних места. На местима која се последња скрућују јављају се усахлине које у одливку не смеју бити, јер би се тиме изгубиле неке механичке карактеристике. Да би се избегла ова појава мора се компензовати мањак растопљеног материјала (због скупљања). Због тога се на моделу конструише додатак поред одливка кога називамо хранитељ. Он има улогу да се усахлина (запремински дефицит) пребаци на њега па тако одливак постане без усахлина током скрућивања. Правилном конструкцијом се може постићи прогресивно скрућивање, од тањих према дебљим деловима одливка док је последње скрућивање у хранитељу.[3]

Табела 3.2.1 Време скрућивања [5]

Материјал	Модул, M	Коефицијент, K	Време скрућивања $M^2 \cdot K, min$
Челик	2	2.2	8.8
Сиви лив	2	3.4	13.6
Нодуларни лив	2	4.4	17.6
Алу- лив	2	7.15	28.6

Према конструкцији, хранитељи се деле на:

- отворени хранитељи и
- затворени хранитељи.

Према деловању хранитељи се деле на:

- класична гравитацијска,
- изолациона и
- егзотермна.

Класични отворени хранитељи се још називају тежински хранитељи, јер код њих напајање зависи и од статичког притиска. Код отворених хранитеља са изолацијском и егзотермном облогом материјал на површини не очврсне па онда функционишу као атмосферски хранитељи. Затворени хранитељи по правилу су циндричног облика који на врху и дну имају облик полукугле. За оптимално напајање одливка потребно је несметано довођење течног материјала у калуп и усмерено скрућивање. Како је већ речено, хранитељ служи да задржи течни материјал дуже од времена скрућивања материјала у одливку. То значи да хранитељ треба рационално димензионирати. За димензионисање хранитеља примењују се различите методе као нпр. фактор облика и различите графичке методе. Чини се да је искуствена метода на израчунавању модула најпоузданија па ће даљи опис рада бити на израчунавању модула.

Дефиниција модула је однос запремине одливка (тела) и његове површине:

$$M = \frac{V}{A}$$

Израчунавање модула за различита геометријска тела или њихових секција дати су у (табели 3.2.2). Модул хранитеља треба да буде нешто већи од модула одливка кога храни па ће се сходно томе нешто касније скрућити. Модул хранитеља мора бити за 1.2 пута већи од модула одливка. Грло хранитеља (спој хранитељ – одливак) мора бити 1.1 пута већи од модула одливка. Тако добијене вредности треба исконтролисати још преко укупног запреминског дефицита одливка.

Модул хранитељ = модул одливак $\times$ 1.2

Модул грла хранитеља = модул одливак $\times$ 1.1

Пример: Израчунавање модула коцке страница 10 *cm*.

Модул је однос запремине и површине, одатле произилази запремина коцке:

$$V = a^3 = 10^3 = 10^3 \text{ cm}^3$$

Површина коцке: $A = 6 \cdot 10^2 = 600 \text{ cm}^2$, следи да је:

Модул коцке: $M = \frac{V}{A} = \frac{1000}{600} = 1,66 \text{ cm}$, где би од ове вредност модул хранитеља био:

$$M_h = M \cdot 1,2 = 1,66 \cdot 1,2 = 1,99 \text{ cm},$$

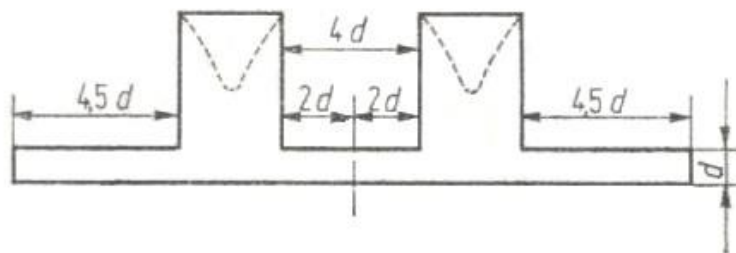
а модул грла хранитеља: $M_g = M \cdot 1,1 = 1,66 \cdot 1,1 = 1,82 \text{ cm}$

Овакви параметри омогућавају практично прогресивно скрућивање одливак - грло хранитеља - хранитељ. [3]

Табела 3.2.2 Израчунавање модула за различита геометријска тела [6]

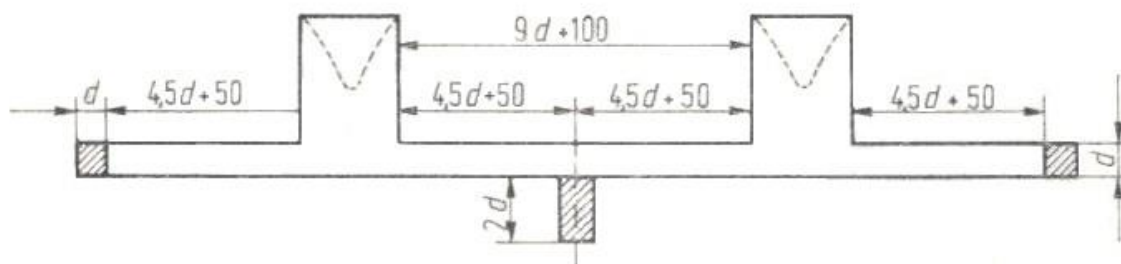
$M = \frac{d}{2}$	$M = \frac{a}{4}$	$M = \frac{d}{4}$	$M = \frac{a}{6}$	$M = \frac{a}{6} = \frac{d}{6}$	$M = \frac{a}{6} = \frac{d}{6}$
$M = \frac{a \cdot b}{2(a+b)}$	$M = \frac{a \cdot b}{2(a+b)}$	$M = \frac{a \cdot b}{2(a+b)-c}$	$M = \frac{r \cdot h}{2(r+h)}$	$M = \frac{r \cdot h}{2(r+h)}$	$M = \frac{a \cdot b}{2(a+b)}$

Плоче и штапови представљају геометријски најједноставнији овлик одливка, па су због тога оне највише испитивана и најбоље позната засићена подручја. Одливак се сматра штапом ако су му странице попречног пресека приближно у размери 1:1. Када је та размера у односу 5:1 или више, такав одливак се третита као плоча. Рубови одливка у облику плоче и штапа или крајњи делови одливка се брзо скрућују због интензивног одвођења топлоте. Одливак у облику плоче је потпун између два хранитеља када размак између њих није већи од $4d$, при чему d представља дебљину плоче. У случају да је тај размак већи, преостали део плоче је порозан, (слика 3.1.1). За компактно скрућивање подручја од краја плоче до хранитеља, њихов размак не сме прелазити $4,5d$. [1]



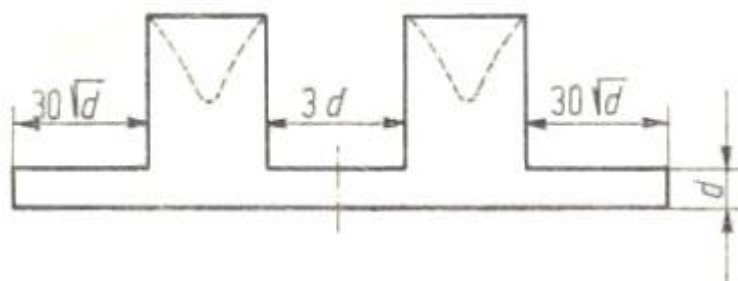
Слика 3.1.1 Одливак у облику плоче са два хранитеља [1]

Ако се поред хранитеља употреби и хладилица, дужина компактне зоне се може повећати. Крајња зона се може продужити око 50 mm , тако да највећа могућа компактна дужина плоче износи $4d + 50 \text{ mm}$, (слика 3.1.2). Хладилице су посебно делотворне између два хранитеља. Њиховом употребом добија се додатна компактна зона, па укупна компактна дужина између два хранитеља може бити $d + 100 \text{ mm}$. Хладилице на крају плоче треба да имају дебљину приближно једнаку дебљини плоче, а хладилица између хранитеља два пута веће дебљине. [1]



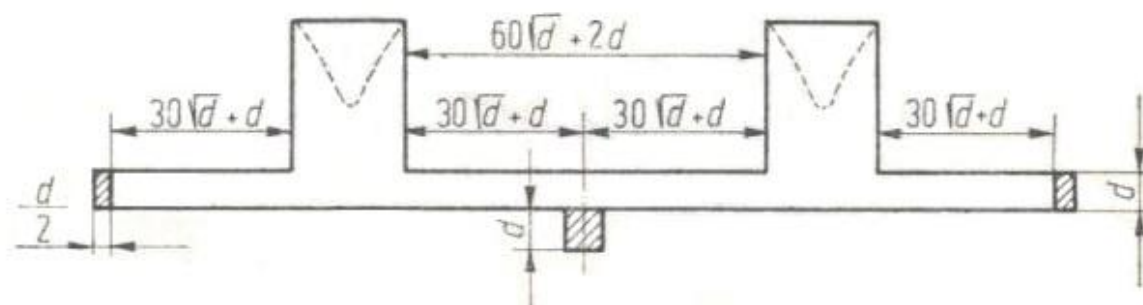
Слика 3.1.2 Одливак у облику плоче са два хранитеља и хладилицама на крајевима и измеђи хранитеља [1]

Код одливака у облику штапа квадратног попречног пресека вредности за компактна подручја су другачија. При напајању штапа бочним хранитељем дужина засићења може износити највише $30\sqrt{d}$, значи мање него код плоче, (слика 3.1.3). Компактна зона између два хранитеља у том случају је $3d$.



Слика 3.1.3 Одливак у облику штапа квадратног попречног пресека са два хранитеља [1]

Ако се за хлађење одливка у облик штапа користе хладилице, компактна дужина на крајевима штапа се повећава на $30\sqrt{d} + d$, а компактна дужина између хранитеља на $60\sqrt{d} + 2d$, (слика 3.1.4). Дебљина крајњих хладилица је једнака половини дебљине штапа, а дебљина хладилице између хранитеља једнака је дебљини штапа. Код једнаке дебљине d одливка у облику штапа, теже је компактно напајати него плочу.



Слика 3.1.4 Одливак у облику штапа квадратног попречног пресека са два хранитеља и хладилицама на крајевима и измеђи хранитеља [1]

3.2 Конструкција уливних система

Уливни систем су канали утиснути у калуп, у којима за време пуњења калупа протиче растопљени метал. Некада уливни систем може садржати елементе система нахрањивања посебно код танкозидних одливака од сивог лива. Из праксе је познато да велики број грешака на одливцима потиче из неправилне конструкције уливног система и система нахрањивања.

Правилно конструисан уливни систем мора да задовољи велики број критеријума:

- Брзо попуњавање калупне шупљине,
- Смањити турбуленцију,
- Избегавање ерозије песка у калупу и на језгрима,
- Уклањање металних укључака и оксида пре него растопљени материјал испуни калупну шупљину,
- Спречити усисавање ваздуха и отклонити гасове из калупне шупљине,
- Избегавање деформације одливка док је у калупу,
- Стварање топлих чворишта,
- Омогућити израду делова уз минимално коришћење растопљеног материјала,
- Економично отклањање уливног система са одливка и
- Компатибилност са расположивом опремом и машинама.

Брзо попуњавање калупне шупљине (време уливања) је врло важно из више разлога. Губитак температуре растопљеног материјала приликом пуњења калупне шупљине (посебно код танкозидних делова) може да доведе до пребрзог скрућивања па тиме и низ грешака на одливку нпр. хладни вар или непотпуним попуњавањем танких зидова. Подизањем температуре (прегрејавањем) се постиже боља ливљивост (течност) али се повећава могућност температурног оптерећења калупа и стварање веће количине гасова. Време попуњавања калупне шупљине (време уливања) мора бити краће од времена израде калупа (код аутоматских машина за израду калупа).

Смањити турбуленцију - турбулентно пуњење калупа и кретање метала кроз уливни систем може повећати термичко, а и механичко оптерећење калупа. Још већу опасност представљају грешке на одливцима (гасни порозитет). У влажном калупу у контакту са растопљеним материјалом догађа се испаравање, а при турбулентном кретању се лако зароби у материјал. Турбулентно кретање растопљеног метала повећава површину па у додиру са ваздухом из калупа ствара оксидациони филм који се претвара у укључке и шљаку (шљака је обично оксид гвозђа у контакту са ваздухом), што повећава број одбачених (шкартних) комада.

Избегавање ерозије калупа и језгара. Велика брзина кретања растопљеног материјала или неправилно кретање преко површине калупа или језгра може да доведе до грешке на одливцима (укључци). или ерозије песка калупа или језгра. Укључци настају од однешеног песка, однешеног премаза са калупа или са језгра. Уливни систем мора бити конструисан и димензиониран тако да омогући довољно времена за издвајање укључака и оксида пре него уђе у калупну шупљину.

Избегавање деформације одливака - Врло је важно код одливања танкозидних одливака, код којих због геометрије није подједнако расподељена температура па приликом скрућивања, може довести до истезања одређеног дела одливка, а тиме и до топлих напуклина.

Стварање топлих чворишта. Када последњи растопљени материјал уђе у калупну шупљину, он је и најтоплији, па ће се последњи скрућивати. Такође, због задебљања ће се исто манифестовати. Решење је да се материјал који улази у оваква чворишта (задебљања) доведе индиректно преко хранитеља, па ће последњи најтоплији материјал бити у хранитељу. Могуће је на таквим чвориштима уградити и хладилице које би смањиле величину модула, а тиме анулира топло чвориште.

Економичност уклањања уливног система. Трошкови чишћења и завршне обраде одливака могу се смањити конструкцијом мањег броја ушћа или индиректним уливањем преко хранитеља када он има улогу ушћа.

Компатибилност калуповања и ливења. Приликом конструкције модела и уливних система пожељно је прилагодити израду калупа на више различитих машина.[4]

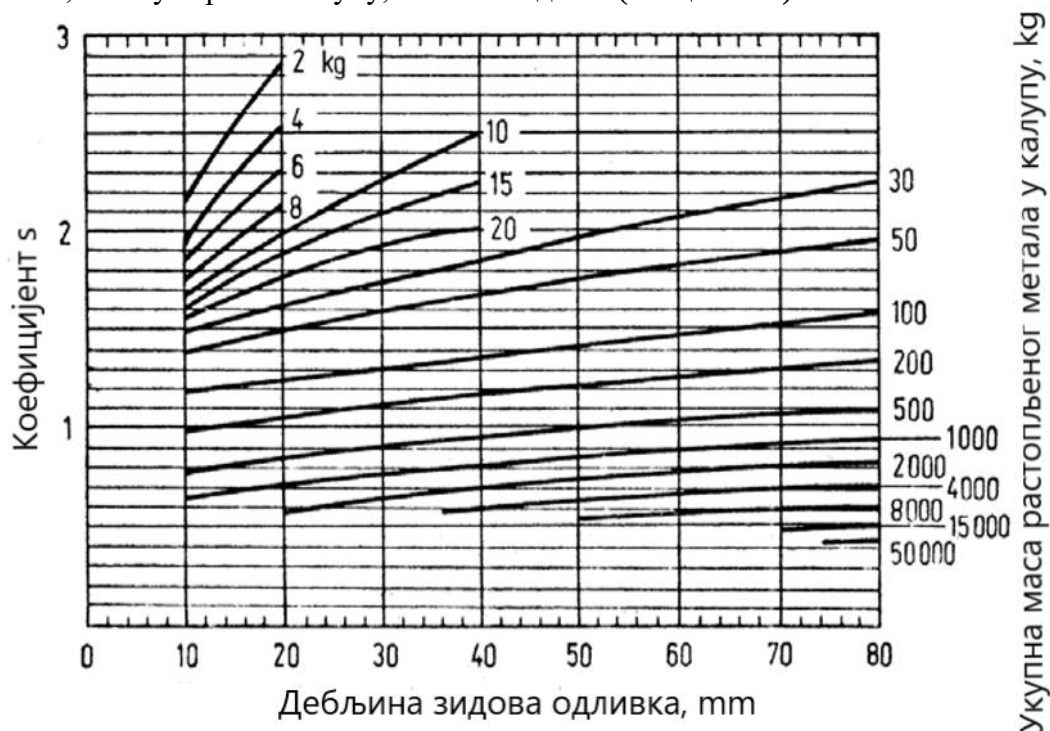
Приликом конструкције уливног система полази се увек од најмање површине пресека, а то су ушћа. Од тог пресека зависи за које ће време калупна шупљина испунити растопљеним материјалом.

Први параметар је време уливања које зависи од масе одливка и дебљине зида. [7]

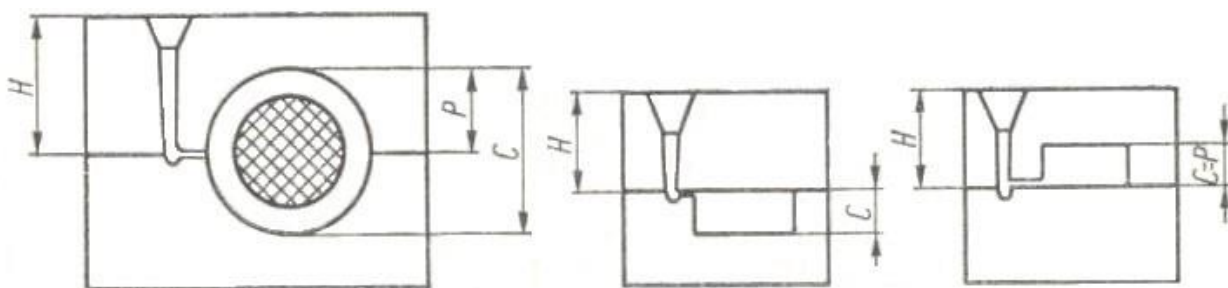
$$t = s \cdot \sqrt{m}$$

Маса m представља масу свих одливака на моделу са уливним системом и хранитељима. Коефицијент s зависи од масе одливка и дебљине зида, његове вредности су дате на номограму (слика 3.2.1).

Други параметар је рачунска хидростатичка висина која зависи од начина уливања: одозго, одоздо и где се налази калупна шупљина у доњем калупу, у горњем калупу или подељен пола у доњем, пола у горњем калупу, како се види на (слици 3.2.2).



Слика 3.2.1 Вредност коефицијента s у зависности од дебљине зида одливка и укупној маси растопљеног метала у калупу m [1]



a) $H_R = H - \frac{p^2}{2c}$

б) $H_R = H$

в) $H_R = H - \frac{c}{2}$

Слика 3.2.2 Одређивање хидростатичке висине H_R према начину уливања [1]

Врло је важно изабрати тачан коефицијент трења и других отпора. Коефицијенти отпора везани за температуру уливања и дебљине канала зидова кроз које протиче растопљени материјал. Коефицијент отпора се креће 0.2 до 0.9 што се изражава у % од теоријског идеалног протицања материјала. [1]

Табела 3.3.1 Коефицијент отпора [8]

Коефицијент	Идеални коефицијент %
0,9	11
0,8	25
0,7	43
0,6	67
0,5	100
0,4	150
0,3	233
0,2	400

Уобичајено да се у пракси користе вредности коефицијента отпора за једноставније одливке сивог лива 0.3-0.4, док за нодуларни, такође једноставније одливке, 0.5-0.6. Међутим, код одливака нодуларног лива који имају изражену конфигурацију било споља или изнутра преко језгра користи се фактор од 0.2-0.4. [8]

Уобичајени уливни систем чине :

- изливни базен са преливом,
- чаша или левак,
- спуст,
- разводник и
- ушћа.

Конструкција уливног система је најзахтевнији сегмент у конструкцији калупа за ливење металних делова. Не постоји једна формула за израчунавање уливног система за све одливке. Тако одливци од сивог лива са различитом дебљином зида и различитим калупима (мокри-суви) са истом тежином одливају у различитом времену уливања. То су објаснили *Czikel* и *Nielsen* својим номограмом, али у многим случајевима се није тачно показао. Из тог разлога многи су покушавали, а и сада покушавају да пронађу оптималније вредности за време уливања. Све друге вредности из формуле су егзактне као Бернулијева теорема и Торичелијев израз брзине истицања течности, убрзање Земљине теже и специфична тежина. [8]

$$A = \frac{1000 \cdot G}{\rho \cdot t \cdot \xi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}} = \frac{22,6 \cdot G}{\rho \cdot t \cdot \xi \cdot \sqrt{h}}, \text{cm}^2$$

$$A = \frac{10^6 \cdot G}{\rho \cdot t \cdot \xi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}} = \frac{71,39 \cdot G}{\rho \cdot t \cdot \xi \cdot \sqrt{h}}, \text{mm}^2$$

$$A = \frac{1036 \cdot G}{t \cdot \xi \cdot \sqrt{h}}$$

G – Тежина метала (укупна тежина у калупу)

t – Време уливања (за сиви и нодуларни лив)

h – Феростатичка (хидростатичка висина)

ρ – Специфична тежина ливног материјала на температури уливања

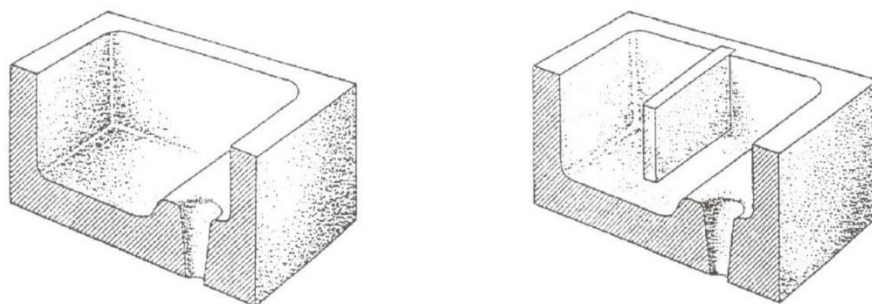
ξ – Фактор губитака трењем

g – Убрзање Земљине теже

Конструкцијом модела и калупа са свим познатим и искуственим законитостима може се постићи висок квалитет одливених металних делова. Међутим, у савременој великосеријској машинској производњи неке од законитости није могуће применити, а неких се конструктори и наручиоци не придржавају због високих трошкова (конструкције, израде модела и израде калупа). [8]

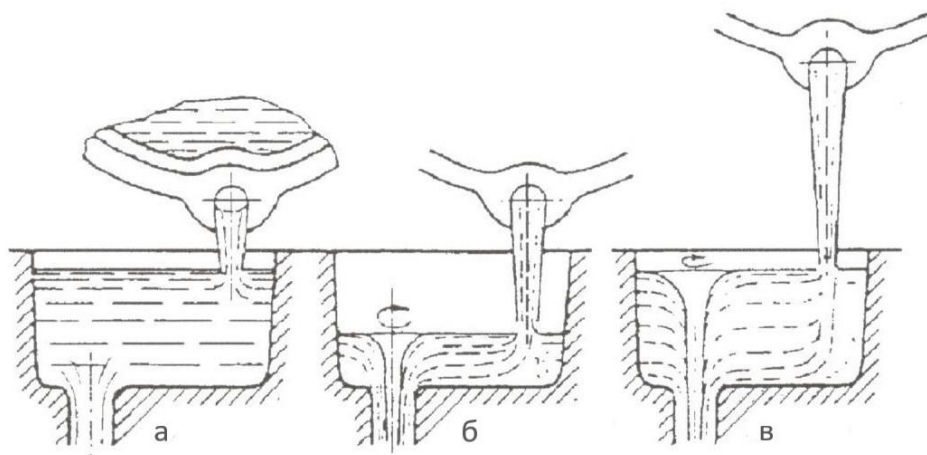
3.3 Конструкција базена са преливом, чаше, левка и спуста

Базен са преливом изнад спуста је најбоље решење, али уједно најскупље и користи се у ручној изради калупа обично за теже металне делове високог квалитета. Базен са преливом, (слика 3.4.1), има предности и недостатке. Предности у уливној комори задржава шљаку, такође између уливне и преливне коморе се може уградити керамички филтер, који ће филтрирати растопљени материјал. Друга предност је апсолутно тачна хидростатичка висина. Недостаци су врло скупа ручна израда, тако да код одливака од 20-30 kg само израда базена са преливом и керамичким филтером може бити скупља од одливка. Још један недостатак је што се не може користити у машинској производњи. [6]



Слика 3.4.1 Чаше са преливним системом [6]

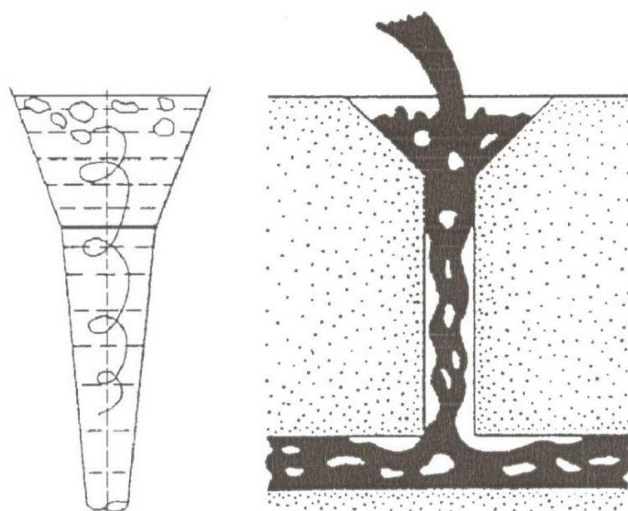
Чаше изнад спуста се ређе употребљавају јер постоји могућност усисавања ваздуха приликом кретања материјала према спусту. Такође, појављује се вртложење у колико се чаша не пуни врло брзо и лонац за изливање не држи што ниже, по могућству 3-4 cm изнад калупа, (слика 3.4.2). [7]



Слика 3.4.2 Правилно (слика а) и неправилно (слике б и в) изливање[7]

На слици а приликом изливања лонац је близу ниво растопљеног метала у чаши и у том случају нема повлачења ваздуха. Слика б приказује изливање при ниском нивоу растопљеног метала у чаши где се јавља кружење материјала и усисавање ваздуха, док је на слици в лонац постављен врло високо изнад нивоа чаше што изазива велико кружење и турбуленције материјала и може доћи до усисавања шљаке и ваздуха.

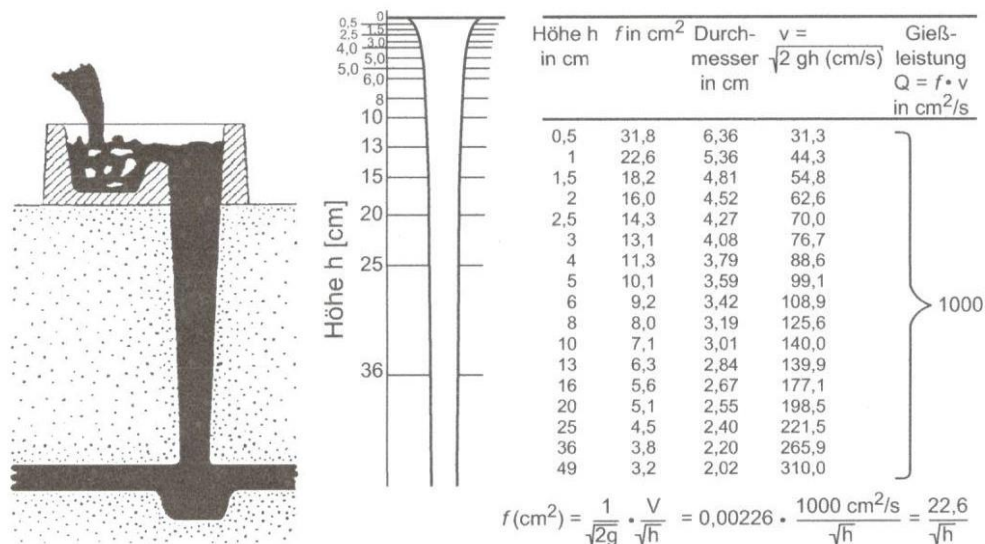
Левак је оптимално и најбоље решење код правилно закошеног спуста, јер се може користити код машинске и ручне израде калупа. Пречник и висина левка су обично 3 пута већи од пречника спуста. Код хоризонтално дељених калупа левак се ископава лептирастим фрезером код неких машина, док код неких се утискују као модел у калупу као, на пример, код вертикално дељених калупа, јер су левак или чаша на подели калупа. Исто важи и за спуст, јер се формира на подели калупа и није тешко направити га по свим законитостима као код хоризонтално дељеног калупа. Правилна конструкција чаше и конусног спуста и неправилна конструкција цилиндричног спуста приказани су на (слици 3.4.3). [6]



Слика 3.4.3 Правилна конструкција чаше (лево) и конусног спуста и неправилна конструкција цилиндричног спуста (десно) [6]

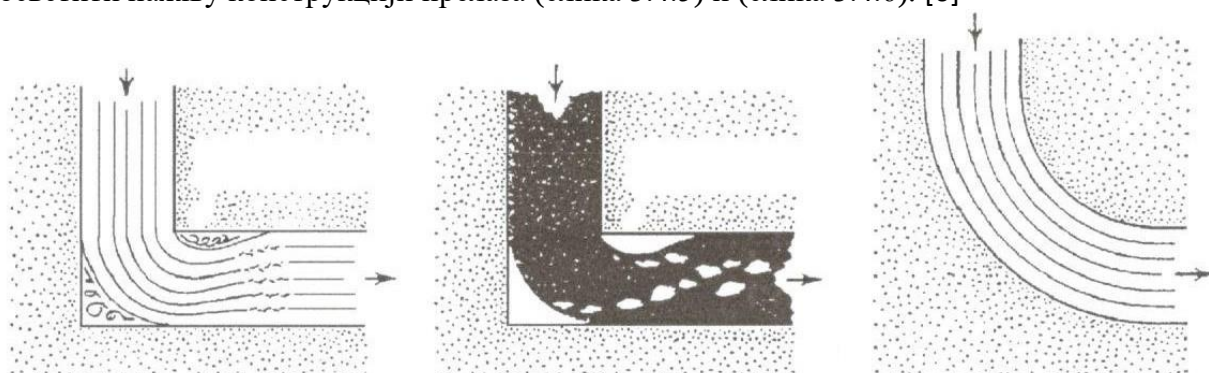
Код конусног спуста према доле (слика лево) јавља се само вртвожење материјала, док шљака и ваздух испливавају на површину. Равни спуст (слика десно), на две трећине његове дужине према доле, има негативан притисак што изазива усисавање ваздуха који се преноси на леву и десну страну разводника. Спуст је кружног облика у пресеку и закошеног, у минусу, према подели калупа до разводника. Употребљава се код ручне

израде калупа за одливке велике тежине и врло захтевног квалитета. Све је више аутора који под притиском произвођача опреме за великосеријску производњу, напуштају физичке законитости за закошењем спуста у корист равног цилиндричног, па чак и супротно свему познатом, конусног у минусу на горе (испод чаше или левка). Установљено је да правилно конструисан спуст приближно закошен 1° према подели калупа, (слика 3.4.4), што омогућава бржу и јефтинију конструкцију и израду калупа. [6]

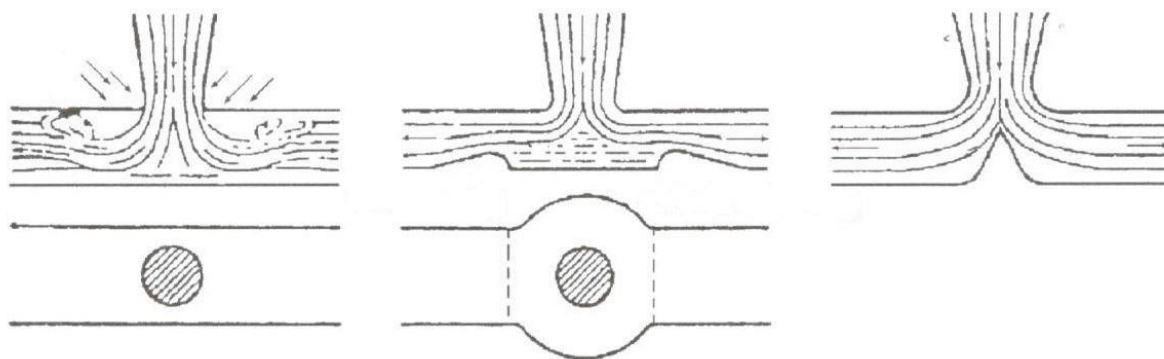


Слика 3.4.4 Конструкција правилног спуста [6]

Следећи важан сегмент уливног система је прелаз (спој) између спуста и разводника на који треба обратити пажњу. На прелазима се, због промене димензије канала, оштрих ивица и углова правца кретања растопљеног материјала, повећава или смањује брзина протицања растопљеног материјала. Исто тако, због поменутих прелаза, могу се јавити вртложења, турбуленције, губљење температуре уливања, смањење протицања материјала у јединици времена, усисавање ваздуха и задржавање мехура у материјалу (посебно изражено код нижих температура уливања), стварања оксида и ерозија песка. Због наведених грешака које узрокују оштре ивице, а тиме и вртложење и турбуленцију треба посветити пажњу конструкцији прелаза (слика 3.4.5) и (слика 3.4.6). [6]



Слика 3.4.5 Спој са оштрим ивицама и заобљеним ивицама [6]

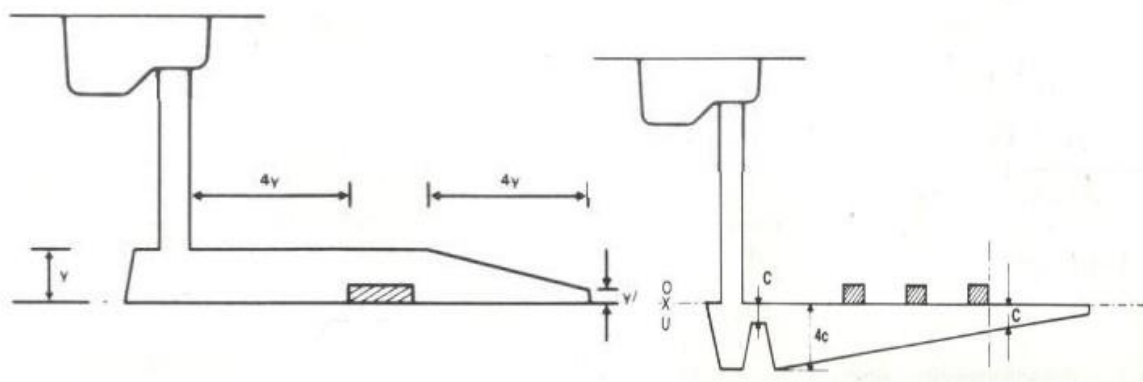


Слика 3.4.6 Неправилни (лево) и правилни (средина и десно) спојеви спуста и разводника [6]

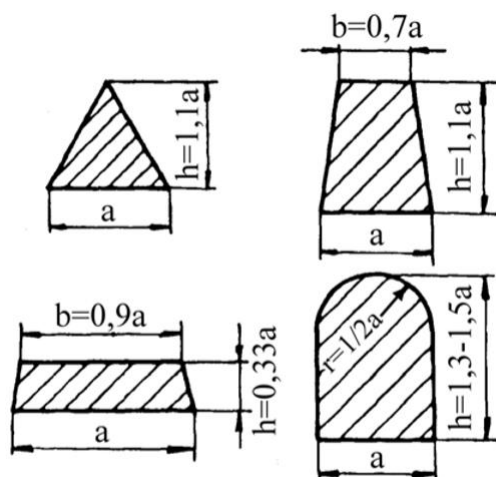
Разводник је канал у калупу тачно димензионисан да спроведе растопљен материјал од спуста до ушћа у одређеном времену уливања. Уливни систем може имати један или више разводника што зависи од величине и броја одливака у калупу. Разводници морају бити конструисани тако да се избегну нагле промене кретања материјала јер би се створиле зоне ниског притиска (усисавање ваздуха и турбуленција). Постављен је на подели калупа под углом од 90° у односу на спуст. [6]

Према начину конструкције може бити постављен у горњој половини калупа (под притиском) или у доњем делу калупа (без притиска), (слика 3.4.7). Разводник треба конструисати тако да се после сваког ушћа повећава од краја разводника у смеру према спусту. Ова конструкција код машинске израде калупа је поједностављена тако да се попречни пресек краја разводника повећа за 20% од збира свих попречних пресека ушћа на разводнику док повећање код спуста повећати за 30%. [8]

Код система без притиска најмањи попречни пресек система се ставља испред свих ушћа и његов пресек мора бити мањи за 10% од збира свих ушћа (без пригушивања). Попречни пресек разводника система са пригушивањем треба бити 3-4 пута већи од попречних пресека свих ушћа, (слика 3.4.8). Геометрија пресека разводника треба бити таква да висина буде најмање 2 пута већа од ширине. Удаљеност ушћа од спуста треба бити 4 пута висине разводника, такође од ушћа до краја разводника 4 пута висине разводника с тим што се сведе конусно на $\frac{1}{4}$ висине разводника. [10]

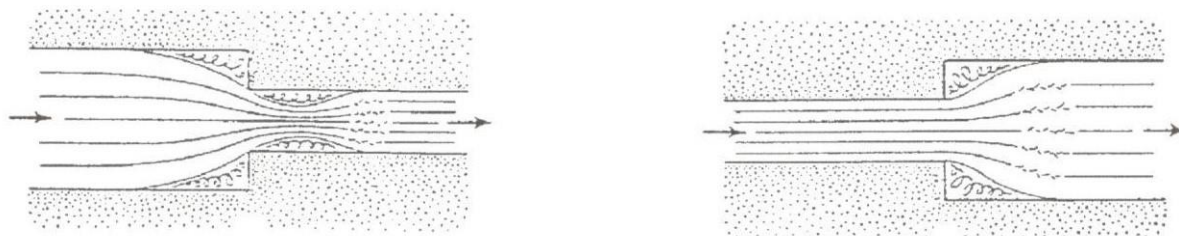


Слика 3.4.7 Уливање материјала у калуп под притиском (лево) и без притиска (десно) [10]



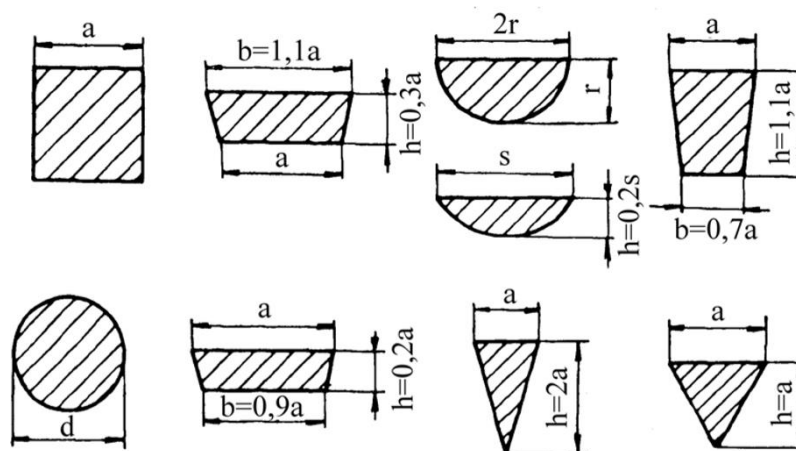
Слика 3.4.8 Приказ могућих попречних пресека разводника [11]

На разводнику, такође треба избегавати оштре прелазе било са већег или мањег пресека као што показује (слика 3.4.9).



Слика 3.4.9 Нагли прелази пресека који изазивају мехур [6]

Ушћа представљају завршни елемент уливног система и повезују разводник са калупном шупљином. Димензије и облик ушћа треба прилагодити дебљини зида одливка како се не би заломио приликом одвајања уливног система од одливка. Из тог разлога ушће мора бити 60%-70% од дебљине зида на коме је ушће. Најчешће се употребљавају ушћа правоугаоног попречног пресека. Ерозија калупа је најмања у случају примене полукружног попречног пресека, (слика 3.4.10). Међутим, негативна страна ових ушћа је појава турбуленције. [10]



Слика 3.4.10 Приказ могућих попречних пресека ушћа [11]

Код завршеног прорачуна уливног система избора пресека свих канала у калупу, обавезно се мора проверити проток растопљеног материјала по *Reynolds*, нпр:

$Re = 2300$ – Ламинарно, $Re = 2300 - 13800$ - без турбуленције. За $Re > 13800$ - турбулентно. Контрола кретања течног материјала се врши по формули:

$$Re = \frac{G \cdot 10^5}{T \cdot P}$$

G - тежина комада

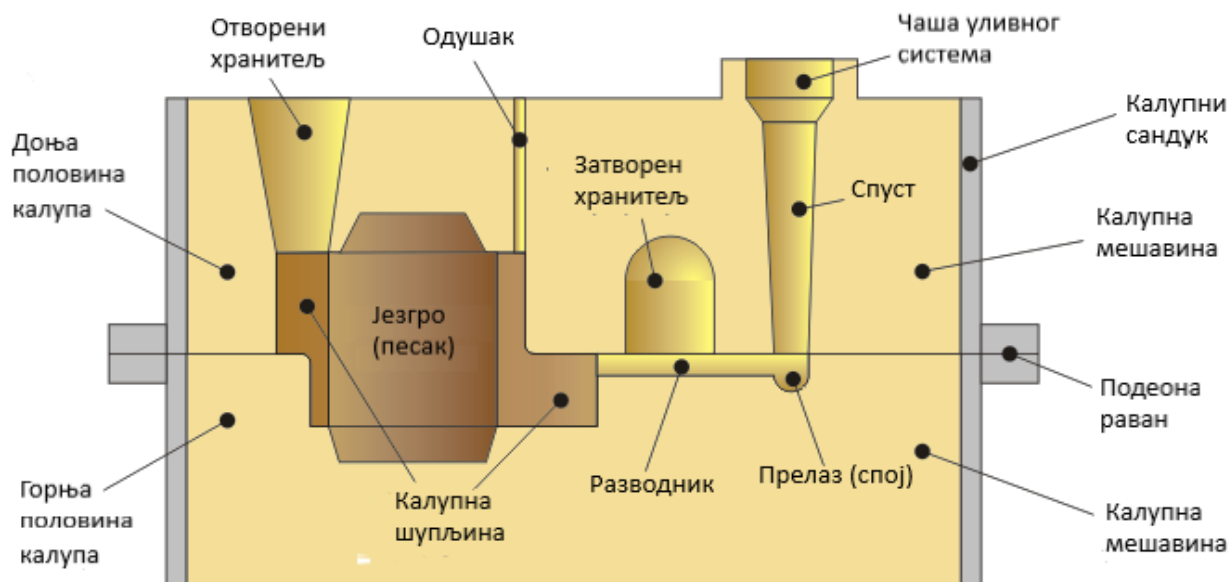
T - време уливања

P - периметрија

Конструктори уливних система се труде да те вредност код мокрог калупа буду око $Re = 6000 - 7000$ док код сувог може нешто више. [12]

4. Калупи за ливење

Калуп је издубљени блок који је издубљен течним материјалом као што су метал, пластика, стакло. Растопљени материјал се хлади и стврдњава унутар калупа, добијајући њен облик, (слика 4.1). У уобичајном поступку обликовања материјала користе се два калупа, по један за сваку половину дела. За задржавање калупа при ливењу метала користе се калупни сандуци. Сандук има само бочне стране, без горњег или доњег дела, и чини оквир око калупа, који је обично направљен од песка. Облик сандука може бити правоугаони, квадратни или округли. Може бити било које величине све док је већи од модела који се користи за израду калупа. Обично се израђује од челика, алуминијума, а може се израдити и од дрвета.



Слика 4.1 Пеишчани калуп са свим елементима [3]

Конструкција ливачког калупа је дефинисање технологије која обухвата:

- Број одливака у калупу,
- Дебљина слојева песка и величина калупа,
- Систем одвођења гасова из калупа и
- Линерно скупљање одливка.

Положај одливка у калупу је битан и треба узети у обзир следеће:

- Захтеве купца,
- Степен компликованости одливка, при томе треба по могућности избегавати улагање језгра у горњи калуп,
- Што боље искоришћање простора у калупу (калупним сандуцима),
- Да се највећа димензија ставља по могућству на подели калупа и
- Да се конструкцијом уливног система омогући (код сивог лива) улаз растопљеног материјала кроз најтање зидове. Код нодуларног и челичног улаз кроз најдебље зидове.

Број одливака у калупу треба максимално искористити. Калуп је максимално искоришћен ако однос тежине одливака и тежине песка у калупу износи минимално 0,25.

Дебљина слојева песка у калупу утиче на количину одведене температуре од одливка ка околини, на чврстоћу калупа и економичност искоришћења калупа. Количина (маса) песка мора бити довољно велика да се осигура против тежа притиску растопљеног материјала у калупу.

Систем одвођења гасова, канали за одвођење гасова из језгре и калупа још увек се раде на основу практичног искуства (још увек нису нормирани и табелелирани).

Линерно скупљање се још назива моделарским скупљањем, значи да модел мора бити за толико процената већи од називне мере одливка. Када се одливак охлади и скупи добија се називна мера одливка. Линеарно скупљање код челичних одливака је 2% код гвожђа 1%, код алуминијума 1.2%, код нодуларног NL40 по осама X и Y, 0.5%, а по Z, 0%.

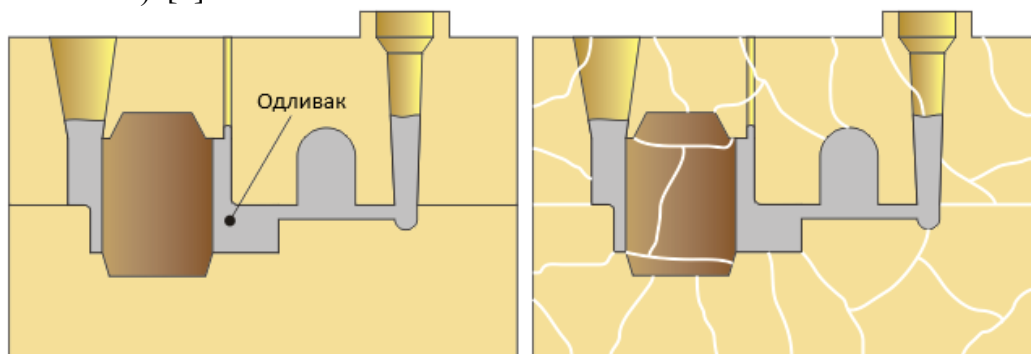
Према трајању калупа разликујемо:

- поступке са једнократним калупом и
- поступке са трајним калупом.

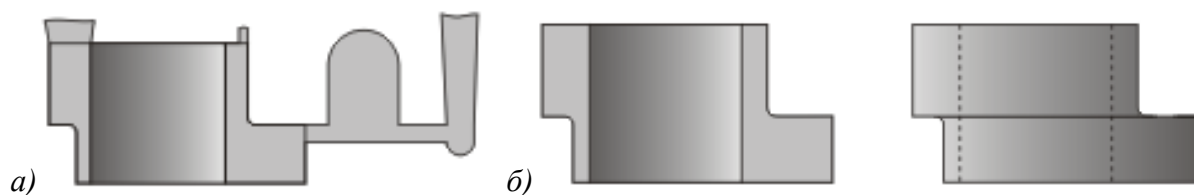
Једнократни калупи се уништавају при истресању одливка из калупа, тако да се за сваки одливак израђује нови калуп. Док се трајни калупи израђују од постојаног материјала и користе се за израду већег броја одливака.

4.1 Поступци са једнократним калупом

Калупи за једнократну употребу су пешчани калупи и израђују се од мешавине песка, везива и додатака. За израду калупа најчешће се употребљава мешавина кварцног песка и глине. Везива су обично глина, ливачки назив бентонит, као и скроб или угљена прашина. По хлађењу одливка уклањају се калупни сандуци, истреса калупни песак, а затим се машинском обрадом уклањају елементи уливног система и коначно чисти одливак, (слика 4.1.1 и слика 4.1.2). [1]



Слика 4.1.1 Охлађен одливак у калупу (лево) и разбијање калупног песка и језгра при истресању одливка (десно) [3]



Слика 4.1.2 а) Одливак пре машинске обраде и б) Одливак после машинске обраде [3]

Најважније особине пешчаних калупа, које се добијају додавањем воде мешавини, су:

- Пропустљивост - омогућава пролаз гасова и ваздуха кроз шупљине у песку,
- Чврстоћа – постојаност облика и отпорност на ерозију,
- Топлотна стабилност – како не би дошло до пуцања калупа приликом додира са растопљеним материјалом,
- Способност урушавања – способност да се направи простор како би се одливак могао стезати без појаве пукотина и
- Могућност поновног коришћења песка при изради новог калупа.

Израда пешчаних калупа може бити:

- ручна,
- машинска,
- помоћу пескомата и
- под високим притиском.

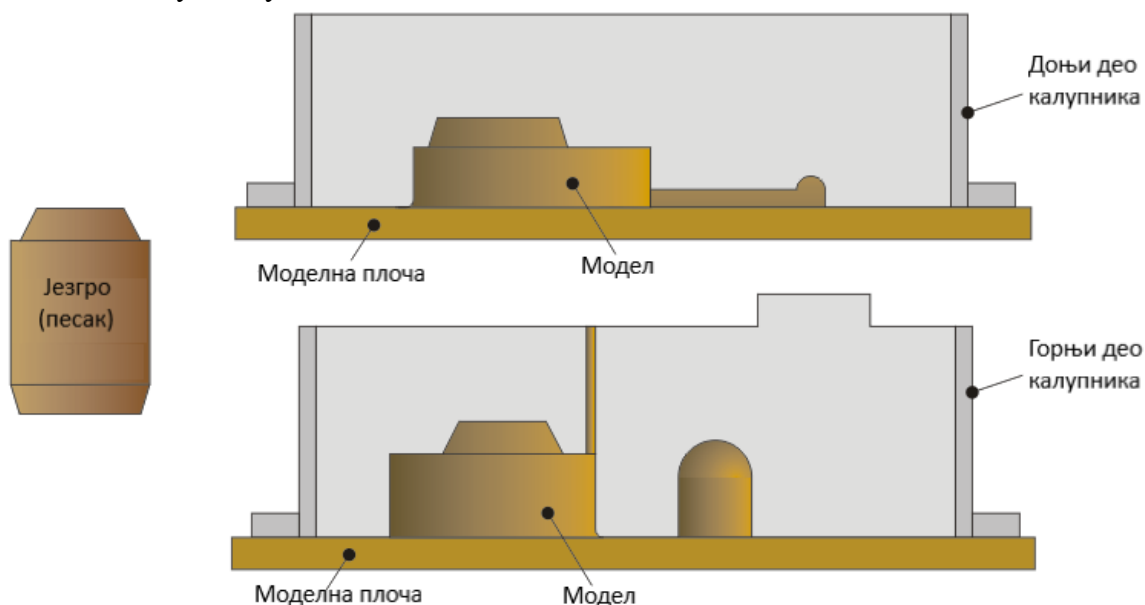
Ручна израда калупа се користи при малом броју наручених одливака или при изради калупа врло сложене геометрије. Сабијање калупа се изводи по зонама пнеуматским сабијачима или, ређе, обични ручним сабијачима. Машинском израдом калупи се израђују трескањем и сабијањем. Трескањем се постиже максимална тврдоћа на делу калупа уз површину модела, а сабијањем се постиже максимална тврдоћа на месту додира плоче и калупа. Пескоматом рукује радник који га доводи изнад калупа и испуњава калуп. Песак се набацује помоћу лопатица које се okreћу великом брзином. При изради калупа под високим притиском, песак се сабија клиповима притиском од око 275 kPa на површини

калупа. Овим поступком се добија највећа могућа уједначеност сабијања и проценат шкарта је мали. [1]

Постоје три врсте пешчаног калупа:

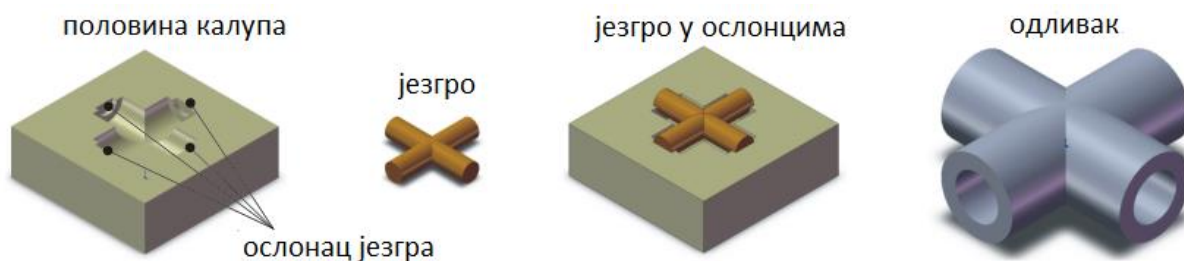
- влажни калуп,
- површински суви калуп и
- суви калуп.

Влажни калуп састоји се од смеше песка, глине и воде, тако да у тренутку уливања растопљеног материјала садржи одређену количину воде. Површински суви калуп добија се сушењем шупљина влажног калупа до дубине $10 \div 15 \text{ mm}$ ацетиленским пламеником или инфрацрвеном грејалицом. Код сувог калупа се користе органска везива те се калуп пече како би му се повећала чврстоћа. Дводелни калупи, (слика 4.1.3), се израђује коришћењем моделних плоча. На моделним плочама се постављају делови модела и део елемената уливног система. Део елемента уливног система се усеца у калупној машавини након што се калуп испуни машавином. [1]



Слика 4.1.3 Делови калупа на моделној плочи [3]

Пре склапања горње и доње половине калупа, у шупљине модела се постављају језгра, (слика 4.1.4). Задатак језгра је да осигура добијање унутрашње шупљине у одливку. [3]



Слика 4.1.4 Језгро калуп и одливак [3]

4.2 Језгра

Језгро је елемент који се користи у процесима ливења и калуповања за производњу унутрашњих шупљина. Обично је једнократне употребе, јер се уништава да би се извадио из одливка. Најчешће се користе при ливењу у пешчаним калупима.

Језгро је најоптерећенији део калупа, због следећих узрока [1]:

- језгро је готово потпуно опкољено растопљеним металом, односно одливком, одливак се при хлађењу стеже на језгру, па језгра недовољног квалитета могу проузроковати напоне, па чак и пуцање одливка,
- шупљина у одливку је често таква да ограничава димензије језгра,
- језгра имају и ограничене димензије за излаз гасова при уливању у калуп и
- чишћење шупљине језгра одливка је обично отежано због непогодне приступачности.

Особине које мора да поседује језгро су [1]:

- довољна чврстоћа,
- довољна пропустљивост гасова,
- отпорност према продирању растопљеног метала,
- мали проценат састојака који стварају гасове приликом уливања и хлађења одливка,
- растреситост након хлађења одливка.

Језгро се може изградити следећим поступцима:

- *cold-box*,
- *hardox-So₂*,
- *hot-box*,
- *Croning*,
- *CO₂*-поступак,
- уљна језгра,
- *no bake* поступак и
- естер-силикатни поступак.

Cold-box поступак је погодан за производњу средњих и великих серија језгара од кварцног, цирконског и хромираног песка.

Предности *Cold-box* поступка:

- висок квалитет површине готовог језгра,
- висок степен тачности и стабилности димензија и облика,
- добро истресање из одливка,
- употреба одмах после израде и
- није потребно сушење.

Недостаци *Cold-box* поступка:

- већа цена везива него код поступка *hot-box*, са *CO₂* или уљним језгрима и
- велики еколошки захтеви и мере заштите од хемијским испаравања.

Везиво код овог поступка се састоји од двеју компонената органског порекла. Прва компонента је фенолна смола, а друга компонента је полиизоцијанат, обе компоненте су отопљене у одговарајућем растварачу. За припрему језгрене мешавине употребљавају се S-

мешалице. Време мешања је од 2 до 6 минута. Потребна чврстоћа језгра постиже се при укупном времену мешања од 3 минута. Редослед додавања компоненти и време мешања је следећи: песак са фенолном смолом се меша 1,5 минута, затим се додаје полиизоцијанат и све заједно се меша још 1,5 минута. Квалитета мешавине оцењује се на основу савојне и затезне чврстоће, количине издвојених гасова из језгра и времена употребљивости мешавине.

Језгро очвршћује продувавањем смесом катализатора и гасом „носиоца“. Као „носилац“ се користи врућ ваздух (80°C) или CO_2 . Језгра се продувавају у комори на столу за израду језгра или у посебној комори. Са разделника се смеша катализатора и гаса „носиоца“ одводи у једну или више комора за продувавање. После продувавања језгро се испира гасом „носиоцем“ због уклањања вишка катализатора из језгра и коморе. [1]

Hardox-SO₂ поступак се више употребљава у америчким и европским ливницама сивог, нодуларног и челичног лива. Везиво се састоји из две компоненте, фуранске смоле или фенолно-фуранске смоле и органског пероксида. Као очвршћивач користи се гас SO_2 . Мешавина се може припремати у S-мешалицама или континуалној мешалици. Квалитет мешавине се оцењује на основу савојне или затезне чврстоће. Израда језгра се врши пуњењем језгра након чега се уноси у специјалну комору где се кроз језгро пропушта смеша гаса SO_2 и носиоца. Време продувавања зависи од величине језгра и износи 0,5-4,0 s.

Hot-box поступак је погодан за израду средњих и великих серија језгара. Мешавина за *hot-box* поступак се састоји од одговарајуће смоле и катализатора. Очвршћивање смоле у мешавини се поспешује катализатором и повишеном температуром. Мешавина се припрема у S-мешалицама са просечним временом мешања од 4 до 5 минута. Компоненте везива се у мешалици дозирају ручно или аутоматски. Поред кварцног песка, смоле и катализатора у мешавину се додаје и конзервер, средство за повећање времена употребљивости мешавине. За израду језгра користе се машине за упуцавање. Машины за упуцавање ваздушним импулсом, наглим ослобађањем компримованог ваздуха изнад песка, притишке песак у језгреник. Језгреници се загревају гасом или електричном струјом до потребне температуре. [1]

CO_2 -поступак за израду језгра се користи за готово све врсте ливова. Коришћење уметних смола као везива утицало је да се CO_2 -поступак, у серијској производњи језгара беома мало користи. Међутим, за мале серије и појединачну производњу језгара CO_2 -поступак је остао најпогоднији. Као везиво се користи натријев силикат, а као очвршћивач гас CO_2 . Мешавина се може припремати у S-мешалицама или континуалној мешалици. Просечно време мешања у S-мешалицама је од 4 до 5 минута. У мешавини се поред везива могу додати и компоненте које побољшавају истресања и пропустљивост за гасове. Квалитет мешавине се оцењује на основу вредности затезне и притисне чврстоће у зависности од количине издвојених гасова из језгра на одређеној температури, пропустљивости на гасове и количине влаге у језгру. Израда се може вршити на машинама за упуцавање или ручно.

Ради заштите површине калупа и језгра и да би се добила глатка површина одливка користе се различите врсте премаза.

Саставни делови премаза су:

- пунила – спречавају продирање метала, ерозију и реакцију између калупа и метала. Као пунила користе се кокс, графит, кварс, циркон
- текући носиоци – користе се вода, алкохол, шпитит, итд.
- материјал за одржавање суспензије – користе се бентонити, Na-бентонити, деривати целулозе,...

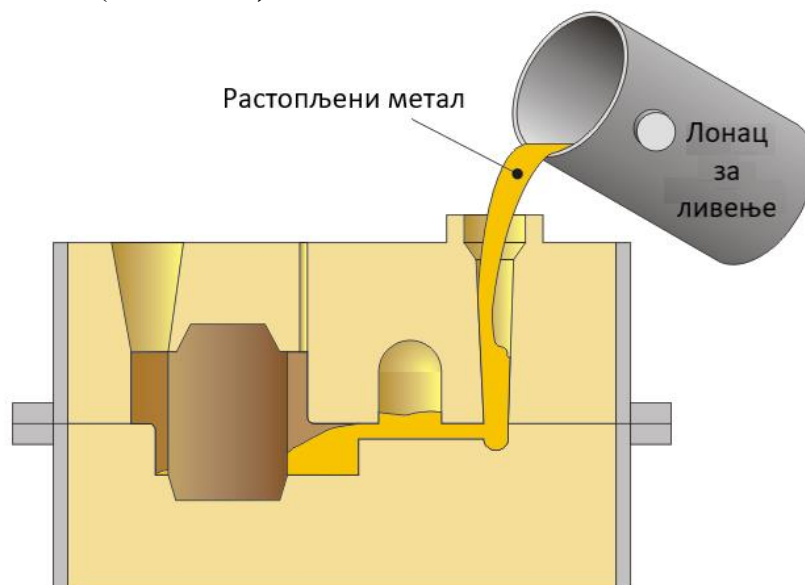
- везива – повезују ситне честице ватросталних материјала-пунила и спречавају скидање премаза након сушења.

По потреби језгра се могу центрирати улошцима. То су мали метални носачи који спајају површину калупа и језгро. Будући да постају део одливка, улошци морају бити од истог или сличног материјала као и метал који се лије. Њихова величина мора бити оптимизована, јер ако су премали, потпуно ће се растопити и омогућити кретање језгра, али ако су превелики, онда им се цела површина не може топити и стопити са сипаним металом. Њихову употребу такође треба избегавати јер могу проузроковати грашке ливења или створити слаба места на одливку. (слика 4.2.1). [3]



Слика 4.2.1 Центрирање језгра помоћу уложака [3]

Након уклањања моделних плоча поставља се језгро у калупну шупљину, спајају се два дела калупа с калупним сандуцима и из лонца за ливење се у калуп улива растопљени метал кроз чашу за уливање, (слика 4.2.2).



Слика 4.2.2 Уливање растопљеног метала у калуп [3]

4.3 Калупна мешавина

Калупна мешавина се састоји из песка, везивног средства и додатака. Песак се као материјал за израду калупа и језгара дефинише као фино гранулирани материјал добијен природним или вештачким путем, односно, дробљењем стена.

Врсте песка које се користе за израду калупа су [1]:

- Кварцни песок (SiO_2) – користи се као основна сировина у највећем броју за израду калупа за ливење нодуларног лива, сивог лива, темпер лива, за ливење челика, обојених и лаких метала. Температура топљења је 1720°C ,

- Оливински песак – је магнезијум – гвожђе – ортосиликат састоји се од форстерита (Mg_2SiO_4) и фајалита (Fe_2SiO_4). Не садржи слободан кварц. Има високу температуру топљења и користи се за калупе и за ливење сивог лива. Температура топљења је $1865^{\circ}C$,
- Хромитни песак (хромит Cr_2O_3) - је веома квалитетан са температуром топљења $1900^{\circ}C$ и у неким ливницама служи као замена за кварцни песак. Служи као меделни песак при изради калупа и
- Цирконски песак – Оксид циркона (цирконијума) и силицијума ($ZnSiO_4$) има врло високу ватросталност са температуром топљења од $2200 \div 2600^{\circ}C$. Користи се за израду мањих језгара које су дуже време у додиру са растопљеним металом после ливења. Велику примену има и као цирконски премаз.

Основна својства песка су:

- величина зрна;
- облик зрна;
- чистоћа;
- топлотна стабилност;
- гранулометријски састав;
- топлотни коефицијент ширења, итд.

Најважнија особина кварцног песка је удео SiO_2 . Неравномерна зрнатост смањује пропустљивост гасова, због тога је битно да зрнца песка буду што једноличнија. Зрна могу бити округла, углата, заобљена и ивераста. Најидеалнији облика зрна песка за израду мешавине је углати. Топлотна стабилност мешавине, поред основног састава песка, зависи и од присуства нечистоћа. Под нечистоћом се подразумева све што се меша са кварцом, јер имају нижу температуру топљења од кварца, који омогућава топлотну стабилност. Утицај нечистоћа највише зависи од начина на који су повезани. [1]

Глине се употребљавају као везивно средство у калупним мешавинама. Врсте глине које се употребљавају су ватростална глина и бентонити. У ливницама се најчешће употребљавају бентонити. Бентонити су пластичне глине које се састоје од минерала монтморилонита, а настале су распадањем вулканског пепела. Удео влаге у бентониту треба да буде у границама од 8 до 10%. Ако је влага нижа, бентонит губи својства потребна за добијање квалитетне мешавине за израду калупа. Једна од важнијих компонената калупне мешавине је угљена прашина. Њен задатак је да створи заштиту на додиру између растопљеног метала и површине калупа, као би се добила што чистија површина одливка без краста, грубих површина, цепања калупа и сл.

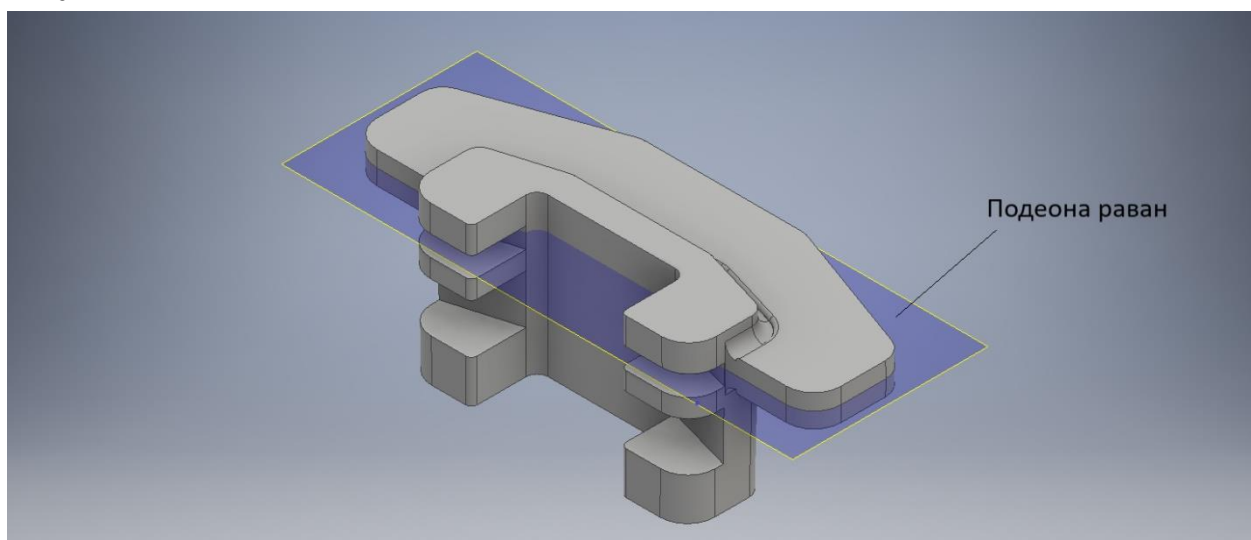
Целокупна инсталација за припрему песка се састоји из мешалица, бункера за повратну мешавину, бункера за прерађену мешавину, бункера за адитиве. Прерађени песак, после мешалице иде у бункер за прерађену мешавину, где се хлади и стајењем добија своја потребна својства. Потреба мешавине да одлежи је због бентонита који, у кратком циклусу мешање, не може да обезбеди потребан квалитет мешавине. Редослед дозирања компонената мешавине се разликује према типу мешалице. [1]

5. Прорачун и конструкција модела носача кочница

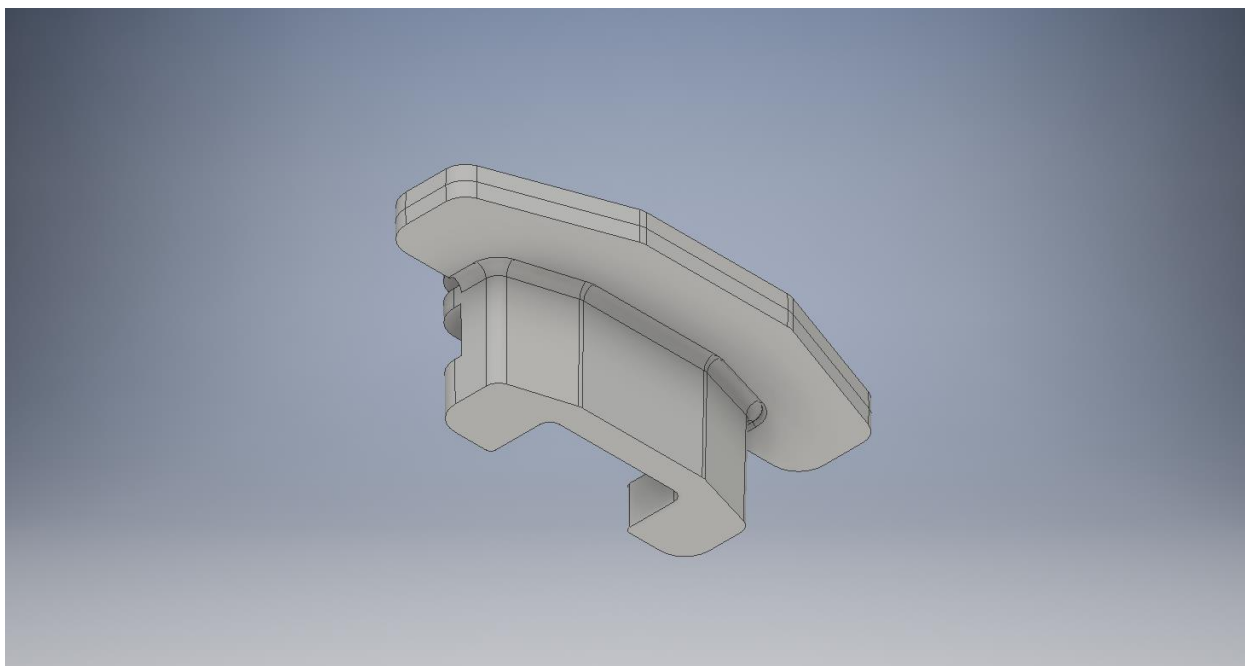
Примењујући све изложено у овом раду, може се приступити разради технолошког поступка и конструкцији калупа за израду ливених делова по захтеву наручиоца. Разрада технолошког поступка израде калупа за ливење подразумева технолошку разраду цртежа одливка и конструкцију ливачког калупа. Пре технолошке разраде цртежа одливка треба размотрити захтеве наручиоца који се морају остварити ливењем, механичке захтеве, тачност димензија, квалитет површине итд. Поред тога, потребно је направити систематску анализу конструкције одливка и утврдити да ли је са гледишта технологије ливења погодна.

Задатак 1. Потребно је конструисати модел за израду калупа носача кочница који ће се одливати од нодуларног лива NL 40-15. Купац је доставио цртеж одливка (са машинском обрадом) уз следеће захтеве:

- Носач кочнице
- Тежина 9,75 kg/ком,
- Материјал NL 40,
- Серија 50.000 комада/год (6.250 Калупа),
- Рок трајања 5 година,
- Квалитет модела мора омогућити израду 35.000 калупа,
- Израда калупа на аутоматској линији (машина HWS 100X800 ваздушни импулс + вибрирање и хидраулично сабијање,
- Гранулација песка 0,19-0,21 mm,
- Време израде једног калупа 19-25 s (такт машине),
- Израда језгара на карусел машинама Cold-box са 4 језгреника (ваздушним импулсом). Машине су запремине 6; 8 и 12 литара,
- Време упуцавања 3,5 s, а време проветравања гасом 9 s,
- Гранулација песка за језгра 0,15-0,17 mm,
- Улагање језгра у калуп аутоматски (робот КУКА носивост до 8 kg) и
- Конструкција уливног система мора бити таква да време уливања мора бити краће од времена израде калупа.
-



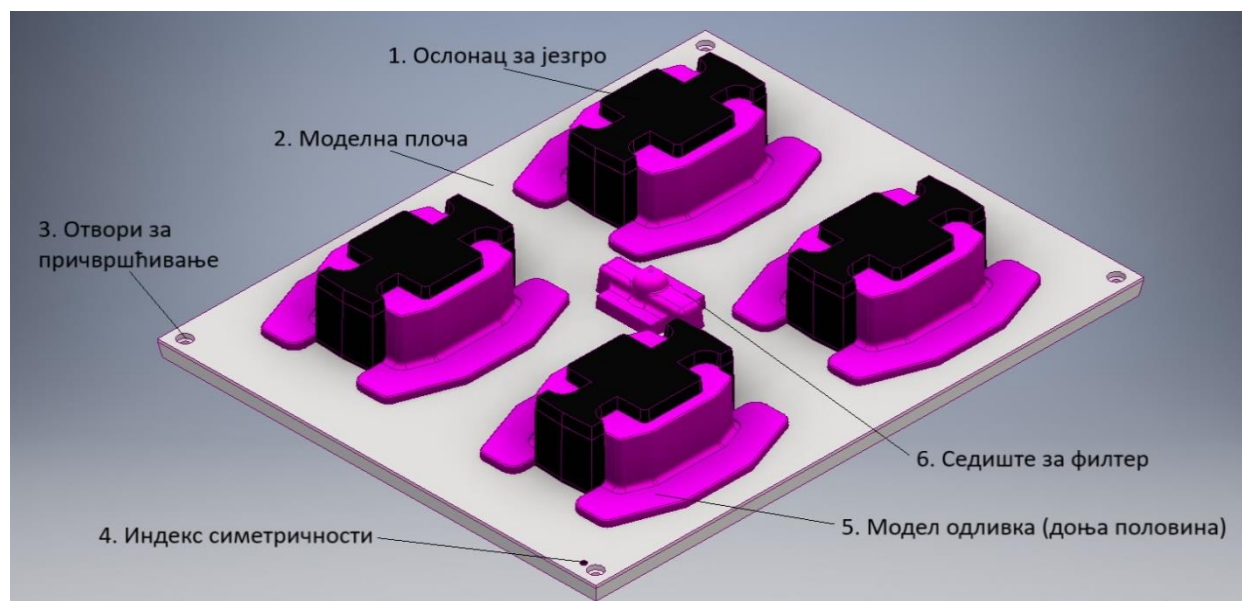
Слика 5.1 3D модел носача кочнице са додатком за обраду



Слика 5.2 Друга страна 3D моделе носача кочница

Након разраде техничког цртежа, захтева купца и разраде производно ливачке технологије закључак је :

Из свега описаног и израчунатог конструисан је модел за израду калупа носача кочнице.



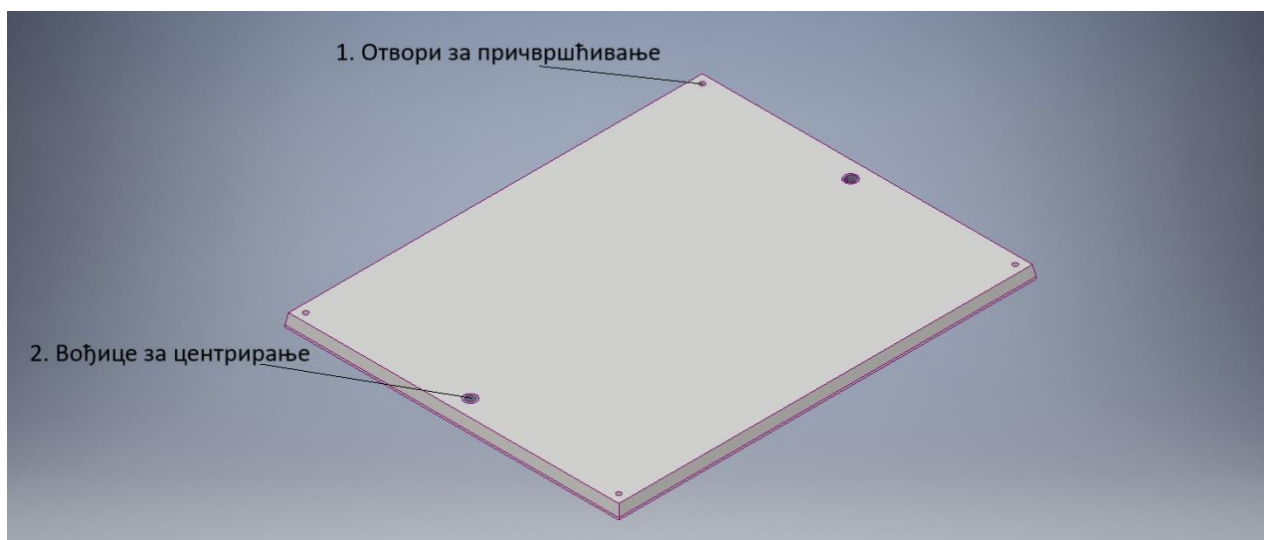
Слика 5.3 Моделна плоча за доњу половину калупа

Модели ће бити монтирани на алуминијумске моделне плоче (2) 1000X800X30 mm. Плоче се обрађују у толеранцији плус 0 минус 0,2 јер је касета у коју се улаже плоча већ у плусу. По геометрији комада и пројектоване површине на раван (моделна плоча) оптималан број модела на моделној плочи може бити 8 модела (слика 5.3), односно по 4 дупла, из једног језгра, везана модела у сваком калупу. Бочне стране моделне плоче су закошене 3° како би се лакше моделна плоча улагала у касету (лежиште на машини). Модели имају закошење да би се лакше извлачили из песка и без урушавања песка. То закошење код машинске израде калупа може да износи $0,1^\circ - 0,5^\circ$. Ослонци за језгра имају мање закошење, 3° , како би се језгро прецизније улегало у калуп.

Модел за доњу половину калупа се састоји од :

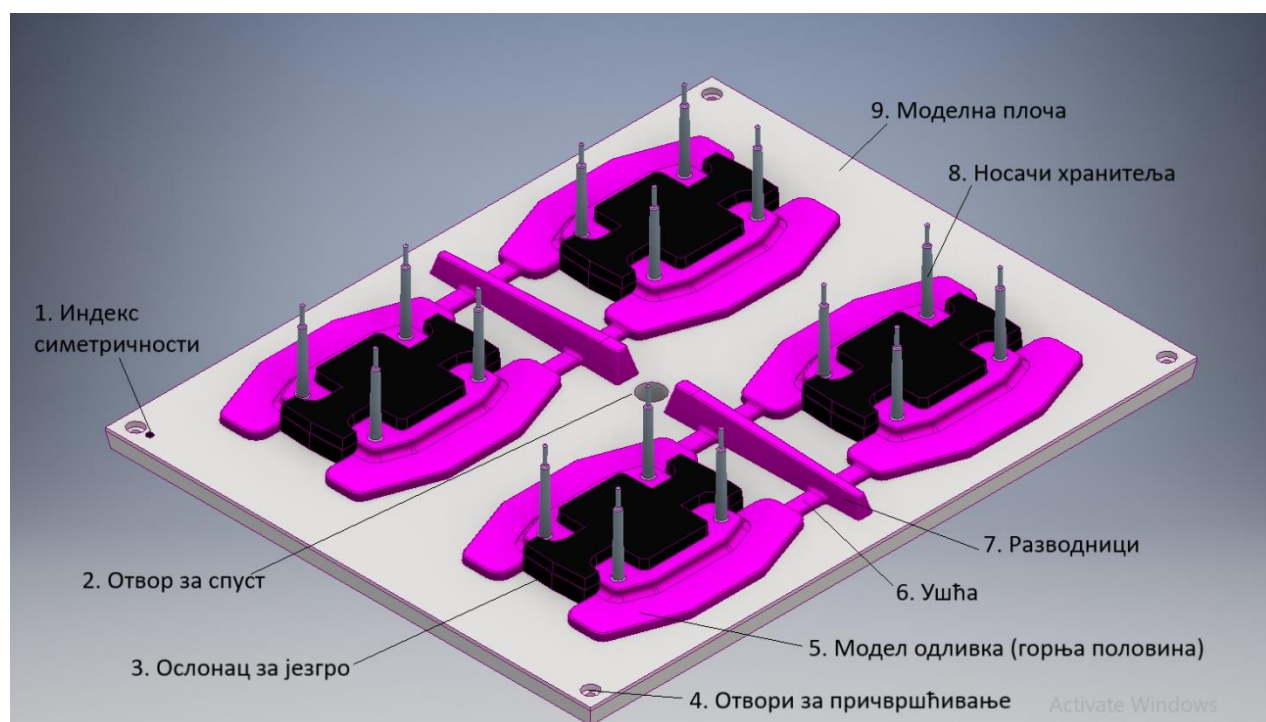
1. Ослонаца за језгро висине 20 mm,
2. Алумијумске моделне плоче,
3. Отвора за причвршћивање за радни сто машине,
4. Индекса симетричности, који служи за правилно склапање оба калупа,
5. Модел доње половине калупа и
6. Седишта за филтер, димензије 100x100 mm.

На угловима су отвори за причвршћивање плоче за под касете. Такође на срединама краћих страна налазе се вођице за врло прецизно позиционирање плоче. На једном од углова налази се индекс за симетрично центрирање горње и доње плоче. Ослонци за језгра на моделу и ослонци на језгру у доњем калупу су у толеранцији $\pm 0,2$. Док у горњем калупу ослонци су у толеранцији $\pm 0,3$. Модели су урађени увећаним за 0,5% скупљања будући да је одливак од нодуларног лива NL40 и да ће бити након ливења и скупљања добит називне мере.



Слика 5.4 Доња страна моделне плоче

Са доњих страна и моделних плоча налазе се вођице (2) које служе за центрирање приликом спајања моделне плоче калупа (слика 5.4). За израду калупа користи се HWS машина која је врло прецизна приликом одвајања модела од калупа (0.1 mm) што омогућава одвајање без оштећења калупа, а истовремено могућност смањења закошења су минимална. Гранулација песка 0.15-0.17 mm је оптимална за квалитет површине, али је проблематична код пропустљивости гасова. Из тог разлога приликом конструкције треба предвидети одвођење гасова конструкцијом шиљака (одушак) на моделу (8), који овде служе и као носачи хранитеља (слика 5.5). Носачи хранитеља су израђени тако да могу да приме најмање 3 величине хранитеља, што је резерва у колико се жели одливати са повишеном температуром (повишена температура захтева већу потребу за нахрањивање). Термички модул није израчунат, јер употреба природног хранитеља би знатно утицала на економичност модела. Употреба хранитеља је неопходна али у виду неких других решења, из тог разлога су конструисани само носачи хранитеља. Помоћни материјали за моделе су челик такође отпоран на хабање и од њега се израђују улошци за центрирање егзотермних хранитеља и водилице, као и сви тањи делови (слика 5.3 и слика 5.5).



Слика 5.5 Плоча за горњу половину калупа

Приликом конструкције уливног система морају се дефинисати време уливања и хидростатичка висина.

Време уливања се одређује искуствено емпиријским формулама. Најједноставнија формула за нодуларни лив дефинише се као квадратни корен из укупне масе помножен са 2.

$$t = 2 \cdot \sqrt{m} = 2 \cdot \sqrt{82} = 18,11 \text{ s} \quad (5,1)$$

У овом случају је то 18 сек, искуствено је утврђено да ако у калупу има више одливака, у укупној тежини, као да је један одливак, умањује се добијено време од 1 до 3 секунди. То се чини због тога што приликом дужег пута растопљени материјал губи температуру, а уједно је и већи отпор. Тако да за време уливања добијамо $t = 15 \text{ s}$.

Израз за израчунавање хидростатичке висине уливања:

$$H_R = H - \frac{p^2}{2c} = 170 - \frac{23^2}{2 \cdot 114} = 167,68 \text{ mm} \quad (5,2)$$

Конструкција попречног пресека ушћа (6)

$m = 82 \text{ Kg}$ (Укупна тежина одливака)

$t = 15 \text{ s}$ (Време уливања)

$Hr = 168 \text{ mm}$ (Рачунска висина)

$\xi = 0,33$ (Отпор трењем)

$n = 8$ (Број ушћа)

$A = ?$ (Површина свих ушћа на одливцима у калупу)

$a = ?$ (Површина једног ушћа)

Установљеним параметрима по већ реченој формули површина свих ушћа је:

$$A = \frac{1036 \cdot m}{t \cdot \xi \cdot \sqrt{Hr}} = \frac{1036 \cdot 82}{15 \cdot 0,33 \cdot \sqrt{168}} = 1324 \text{ mm}^2 \quad (5,3)$$

$$a = \frac{P}{n} = \frac{1324}{8} = 165,5 \text{ mm}^2 \quad (5.4)$$

Површина једног ушћа је $a = 165,5 \text{ mm}^2$

Након израчунавања попречног пресека ушћа приступа се израчунавању поречног пресека разводника (7). Изглед попречног пресека разводника често је правоугаоног или трапезног облика. У овом случају радићемо трапезни облик. Називна мера је мера горње стране трапеза и обележава се са A , док се доња страна и висина вреднују са $2 \cdot A$. Опште усвојено правило да разводник на његовом крају буде попречног пресека нешто више од 20% свих ушћа који су на том разводнику док поред спуста треба бити нешто више од 30% од увећаног на крају. Из изложеног спуст на крају ће имати меру $A=13$ а на почетку поред спуста меру $A=19$.

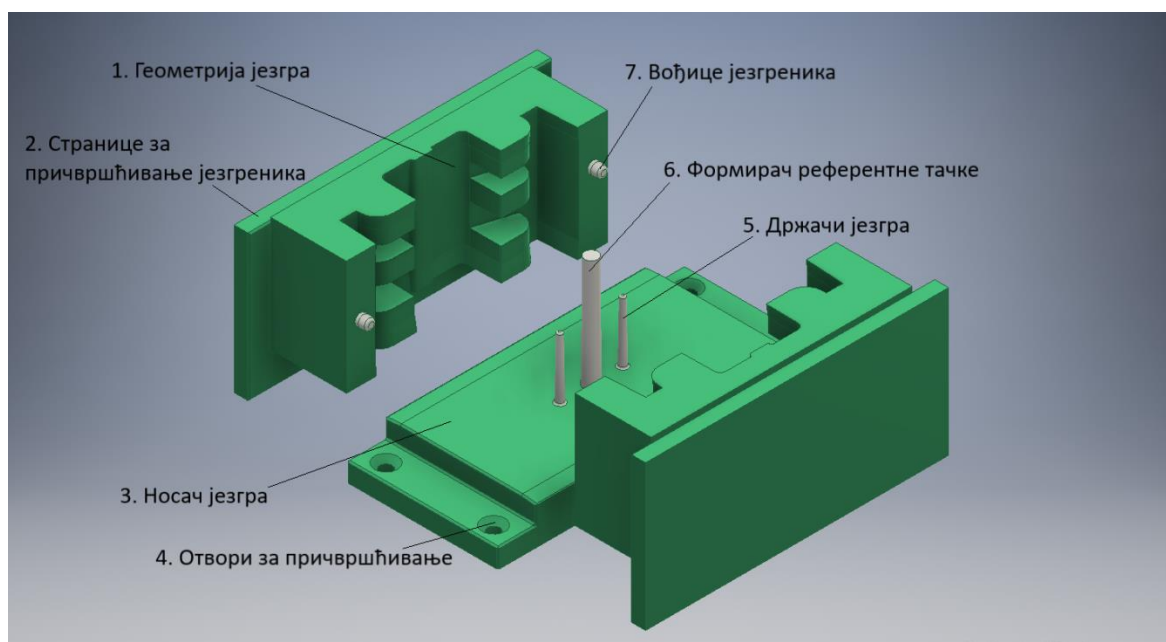
Конструкција спуста се углавном заснива на величине попречног пресека разводника. Димензионирање спуста може бити истог или нешто мало већег попречног пресека разводника округлог облика. Димензија може бити иста, јер, кроз спуст, фактор отпора је 0.9 (скоро занемарљив) па ће кроз њега тећи већом брзином материјал.

Конструкција чаше - чаша је устаљено 3-4 пута већег пречника од пречника спуста.

Калупи се израђују у калупне сандуке 1000X800X170, чија запремина песка и укупна тежина

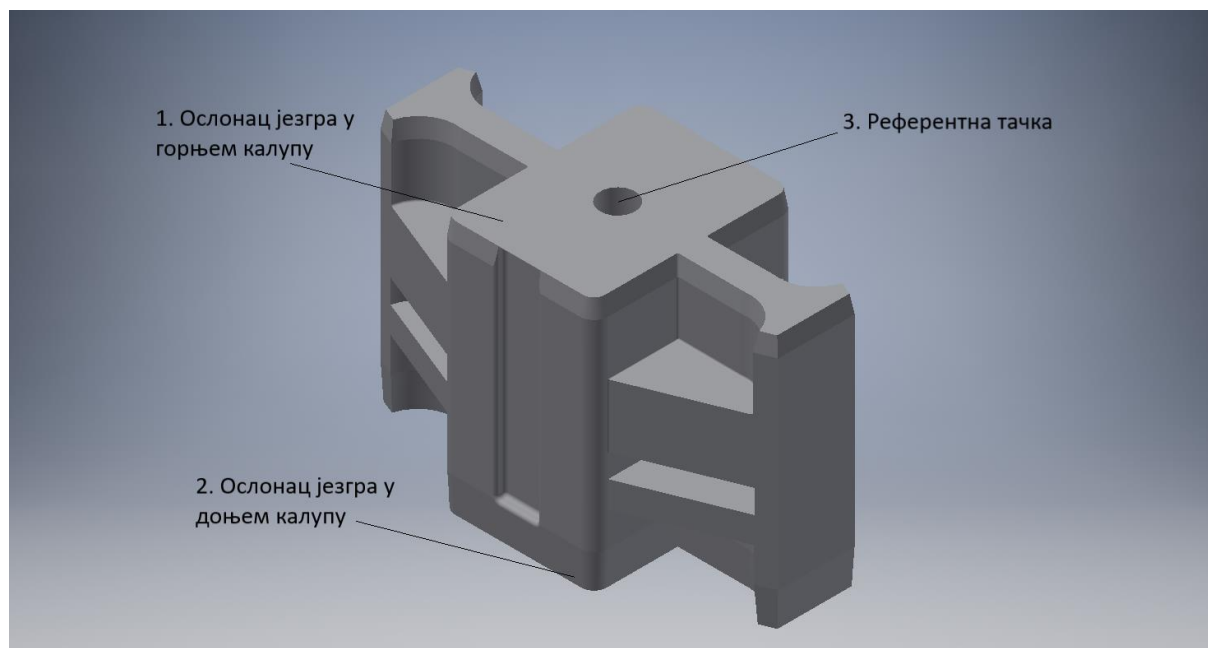
растопљеног материјала дају однос 0.25 што је оптималан однос са аспекта стабилности калупа. Језгреник треба урадити од материјала отпорног на хабање и избор је уреол гарантује издржљивости и отпорност на хабање израду до 100.000 калупа. Такође, за израду језреника може се користити и челик који је доста неповољнији материјал јер доводи до знатног бржег

оштећења бочних страна у односу на уреол (слика 5.6). Странице за причвршћивање језгреника (2) су учвршћене помоћу вакума и служе за отварање и затварање језгреника. Носач језгра (3) је са држачима језгра (5) који задржавају језгро на свом месту након отварања бочних страна језгреника. На носачу је такође формирач референтне тачке кога робот препознаје и одлаже језгро у доњи део калупа.



Слика 5.6 Калуп за добијање језгра (језгреник)

Са аспекта велико серијске производње калупа, броја одливака и израде језгра за исти број одливака, потребно је искористити могућност - једно језгро два одливка што осетно смањује цену производње. Међујезгро одваја одливке у доњој и горњој калупа (слика 5.7).



Слика 5.7 3D модел међујезгра

6. Закључак

Циљ завршног рада је био да се на једном месту детаљније опише сам поступак у добијању модела за ливење носача кочнице.

Као бољи увод у тему наведени су основни елементи у погледу историјског развоја ливења, као и појам конструкције калупа за ливење металних делова. Главни задатак јесте да се у серији добије што већи број здравих одливака. Како би добили што квалитетнији одливак потребно је пре свега испоштовати правила при конструсању машинског дела који се одлива, а затим извршити детаљну анализу погодности дела за ливење и у случају неповољних резултата направити измене на делу. Конструкцијом модела треба предвидети све могу грешке при одливању и омогућити што бољу производност и економичност одливка. Остваривање прогресивног очвршћавања је веома важно при ливењу, што се добија коришћењем грејних и хлађених тела. Правилан прорачун хранитеља и уливних система обезбеђује одливак без усахлина, док правилна конструкција уливне чаше и спуста спречава турбулентно кретање растопљеног метала, а тиме и усисавање ваздуха и шљаке. Приметили смо различите врсте пешчаних калупа са њиховим карактеристикама, као и различите врсте израде језгара. Прорачун модела носача кочница је дат кроз параметре као што су време уливања, хидростатичка висина уливања, површина попречног пресека ушћа и разводника.

Из свега поменутог, закључује се да за конструкцију правилног модела који обезбеђује минималан број шкарт одливка, конструктор мора у великој мери располагати знањем о ливарству, пре свега знањем о уливним системима и хранитељима.

7. Литература

- [1] Група autora: *Ljevački priručnik*, Savez ljevača Hrvatske, Zagreb, 1985.
- [2] Марјановић Н., Јовичић С.: *Основи конструисања*, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2018.
- [3] <https://textarchive.ru/c-2289447-pall.html>
- [4] Wlodawer R.: *Gelenkte Erstarrung von Gußeisen*, Giesserei Verlag GMBH, Düsseldorf, 1992.
- [4] L. Kucharcik; *Izračun in konstrukcija ulivnih sistemov*, Seminar Društva livarjev Slovenije, Portorož, 1977.
- [5] H. F. Taylor, M. C. Fleming, J. Wulff; *Foundry Engineering*, John Wiley Sons, New York, 1959.
- [6] B. V. Rubinovic, R. Mai, G. Drossel; *Grundlagen der Giess und Speisetechnik für Sandformguss*, Leipzig Dt. Verl. für Grundstoffindustrie, 1989.
- [7] Karsay I. S.: *Ductile Iron III Gating and Riserling*, QIT- Fer et Titane Inc, 1981.
- [8] Dansk Industri Syndikat A/S, Taastrnp Denmark, Februar 1985.
- [9] Cabannes P. M., Forrest R., Muratore G., Rödter H., Gagné M.: *Gusseisen mit Kugelgraphit, Das Wichtigste über Anschnitt und Speisertechnik*, Rio Tinto iron & Titanium Inc. Quebec, 2002.
- [10] Unkić F., Glavaš G. *Osnove lijevanja metala*, Metalurški fakultet Sveučilištva u Zagrebu, Sisak, 2009.
- [11] Nielsen F.: *Gieß- und Anschnittechnik Drundlagen und Anwendung einer Methode*, Giesserei Verlag GMBH, Düsseldorf, 1993.