

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Производне технологије 2 (Технологија ливења)

Број индекса: 54/2015

Андреа М. Симић

Ливење графитних ливених гвожђа, челичних ливова, обојених метала и њихових легура завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Вукић Лазић, ред. проф. – ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да опише и објасни ливење као једну од најважнијих примарних и секундарних производних технологија. Треба да објасни врсте ливења, сложено технолошко својство ливкост и укаже на широку област примене у различитим индустријским гранама. Такође, треба да укаже на предности и мане ове технологије.

Поред наведеног, кандидат треба да да преглед материјала за ливење. То се пре свега односи на легуре гвожђа и угљеника, као и обојених метала и њихових легура. Поред тога, треба да наведе најважније врсте ливачких грешака и да предложи мере за њихово уклањање.

Препоручена литература:

- 1) Јовановић М., Лазић, В.: Технологија ливења и заваривања, универзитетски уџбеник, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2015.
- 2) Бранковић, М.: Технологија ливачких калупа, Технолошко-металуршки факултет, Београд, Beograd, 1982.
- 3) Стевић, Д.: Ливење обојених метала и њихових легура, дипломски рад, Машински факултет у Крагујевцу, 1984.
- 4) Јовановић, М., Лазић, В., Арсић, Д.: Наука о материјалима, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2017.

Крагујевац, 07.05.2019.

Ментор:

Др Вукић Лазић, ред. проф.

Садржај

1.0	УВОДНЕ НАПОМЕНЕ О ЛИВЕЊУ	1
2.0	ЛИВАЧКЕ ОСОБИНЕ МЕТАЛА.....	2
2.1	Топљивост	2
2.2	Течљивост и ливкост	2
2.3	Запреминске промене растопа и одливака при хлађењу.....	5
2.4	Улегнућа услед шупљина (лункери)	6
2.5	Унутрашњи напони у одливцима	6
2.6	Унутрашњи структурни (фазни) напони у одливцима (σ_f).....	7
2.7	Кривљење (савијање) одливка.....	8
2.8	Прслине и пукотине.....	8
3.0	ПРЕГЛЕД НАЈВАЖНИЈИХ МЕТОДА ЛИВЕЊА	10
3.1	Центрифугално ливење	12
3.2	Прецизно ливење	13
3.2.1	Ливење топљивим моделима	13
3.2.2	Ливење под притиском.....	14
3.2.3	Ливење у гипсаним калупима.....	15
3.2.4	Ливење у керамичким калупима (по Shawu).....	15
3.2.5	Ливење у шкољкастим калупима (по Croningu)	18
3.3	Ливење у пешчаним калупима	19
3.4	Ливење у трајним калупима.....	21
4.0	ПРЕГЛЕД МЕТАЛА И ЛЕГУРЕ ЗА ЛИВЕЊЕ	23
4.1	Ливачке легуре гвожђа	23
4.2	Сиво ливено гвожђе	23
4.3	Нодуларно (ковно) ливено гвожђе	25
4.4	Темперовано ливено гвожђе	26
4.5	Компактно (вермикуларно) ливено гвожђе (CGI)	27
4.6	Легирано ливено гвожђе	28
4.7	Челични лив (ČL)	28
5.0	ЛИВАЧКЕ ЛЕГУРЕ ОБОЈЕНИХ МЕТАЛА И ЊИХОВИХ ЛЕГУРА	29
5.1	Ливачке легуре алуминијума	30
5.2	Ливачке легуре магнезијума	31
5.3	Ливачке легуре бакра.....	33
5.4	Остале легуре за ливење.....	34

6.0 ПРЕГЛЕД ЛИВАЧКИХ ГРЕШАКА	35
6.1 Разврставање грешака	35
6.2 Поправка одливака са грешкама	56
7.0 ЗАКЉУЧАК	58
8.0 ЛИТЕРАТУРА.....	59

Резиме: У оквиру рада извршено је систематско прикупљање и анализа литературних података и информација везаних за ливење графитних ливених гвожђа, челичних ливова, обојених метала и њихових легура. Описани су различити начини процеса ливења, објашњени су принципи на којима се ови процеси заснивају, као и примена у пракси ових метала и легура. Указано је и на значај ове производне технологије, као и на сложеност њене примене. Посебно се то односи на комплексно својство ливкости, које у себи укључује велики број комплексних ливачких особина.

Кључне речи: ливење, метали, легуре.

Abstract: As part of the thesis, systematic collecting and analysis of literary data and information about pouring graphite cast iron, steel castings, colored metals and their alloys was carried out. Different kinds of processes of pouring metal were described and principles upon which these processes are based were explained as well, in addition to the use of these metals and alloys. Also, the importance of this manufacturing technology and the complex nature of it's use has been pointed out. It particularly applies to the complicated characteristic of casting, which possesses a large amount of complex casting features.

Key words: casting, metals, alloys.

1.0 УВОДНЕ НАПОМЕНЕ О ЛИВЕЊУ

Технологија ливења је део машинске технологије која проучава поступке секундарне прераде металних полупроизвода добијених у железарама или топионицама.

Поред ливења, у машинску технологију спадају: пластична прерада (ковање, ваљање, пресовање, ...), машинска обрада, заваривање и сродни поступци, измена својстава материјала, синетровање (металургија праха), заштита металних поршина и тсл.

Примарна прерада метала: ливење ингота (трупаца), ковање, топло и хладно ваљање, површинска заштита обавља се у железарама (топионицама). Од свих поступака секундарне прераде метала (ван железара) најстарије је ливење.

Археолошким истраживањима откривено је да је ливени бакарни предмети потичу чак из 4500-те године пре Христа. У неолитским локалитетима код Великог Лаола (код Петровца на Млави) откривени су ливени бакарни предмети у облику ножева, мачева, секира и сличних предмета, приказаних на слици 1.1.

Ливење је у то доба извођено тако што се најпре у каменој стени дубила шупљина која по облику одговара употребном предмету (ножу, мачу, секири и др.). Затим се метал топио у керамичком лонцу и у течном стању се сипао у удубљења камена. Пошто би метал очврснуо камен се разбијао и предмет ослобађао.



Слика 1.1 Нож и две секире од чистог бакра (а) изливене у шупљини (б)

И ако је ливење, као начин прераде метала у готове производе, познато више од 4 миленијума, поступак је у суштини остао готово непромењен. Одувек се правила шупљина, па метал топио у пећи и најзад насипао у ту шупљину која је по облику и димензијама копија предмета који се израђује.

Из горе наведеног произилази да су ливени делови или одливци употребни предмети који се добијају директним очвршћивањем (кристализацијом) растопљеног метала у одговарајућој шупљини (калупу или форми). Калуп као целина је у ствари посуда, чија унутрашњост по облику и димензијама верно одсликава предмет који ће се излити. У данашње време се пре израде калупа прави копија употребног предмета од дрвета, пластике, метала или других погодних материјала. Ова се копија зове модел. При изради калупа (калуповању), модел се поставља у оквир (рам, шасију, калупницу) који се обично назива калупна кутија или калупник. У простор између модела и зидова насипа се и сабија калупна смеша. То је добро измешани кварцни песак одређене гранулације, везивно

средство (глина) и вода. Пошто се калуповање заврши и изради уливни канал, модел се вади из калупа, а он даље суши.

С обзиром на материјал одливка разликују се: ливачке легуре гвожђа (сиви лив (SL)), нодуларни лив (NL), црни темпер лив (STeL) и вермикуларни (компактни лив (VL, CGI)), челични лив (ČL) и ливачке легуре обојених метала (углавном алуминијума, бакра, цинка, магнезијума и других метала).

2.0 ЛИВАЧКЕ ОСОБИНЕ МЕТАЛА

Израда ливених предмета биће економична, а одливци квалитетни само ако се за ливење изаберу метали и легуре који имају погодне термофизичке особине за ливење. Скуп тих особина изражава се појмом ливкост. Реч је о сложеној технолошкој особини, будући да она не зависи само од особина течног метала, већ и од својстава ливачког калупа.

У ливачке особине самог лива спадају: топљивост, течљивост, растворљивост гасова у течном металу, сеграгација неких састојака, промена запремине при загревању и хлађењу и друге особине које утичу на понашање метала при топљењу, наливању у калуп и очвршћивању (кристализацији).

2.1 Топљивост

Топљивост је способност металних легура да при загревању мирно пређу из чврстог стања у течну и да при томе образују хомоген растоп.

Промена агрегатног стања треба да се одвија без претераног прштања и стварања гасних мехурова уз невелику промену почетног хемијског састава и степена чврстоће. Топљивост се, када је реч о легурама, најчешће процењује према температури топљења, температурском интервалу очвршћивања легуре и количини топлоте потребне за топљење. Увек се разматра и понашање растопа које се односи на: апсорпцију гасова, оксидацију и појаву неметалних укључака и на интеракције појединих састојака легуре, као и на реакције састојака растопа са зидовима пећи на високим и повишеним температурама и још на испаравање и сеграгацију тј. промену хемијског састава легуре.

Према температури топљења и ливења, разликују се: 1) метали и легуре са високом температуром топљења (легура титана, гвожђа и никла), 2) метали и легуре са средњом температуром топљења (легура бакра) и 3) метали и легуре са ниском температуром топљења (легура алуминијума, магнезијума, цинка, олова и калаја).

Уопште важи правило да најбољу топљивост имају легуре блиске еутектичком саставу, а то су у датом бинарном систему (Fe-C, Cu-Sn, Al-Si), легуре са релативно ниском температуром топљења, малом специфичном топлотом и латентном топлотом топљења. Еутектичке легуре имају најбољу ливкост, јер се оне од свих легура датог система одликују најнижм температуром топљења, специфичном топлотом и латентном топлотом топљења.

2.2 Течљивост и ливкост

Течљивост (ϕ) растопљених метала и легура дефинише се као реципрочна вредност динамичке вискозности, тј. отпора, односно унутрашњег трења, које се јавља при релативном померању једног слоја течности у односу на други ($\phi=1/\eta$).

Из таблице 2.1 се види да динамичка вискозност (η) неких течних метала, на довољно високој температури, није много већа од динамичке вискозности воде, при том се течљивост растопљених метала може рангирати упоређујући их са вискозитетом воде. По овом критеријуму, по течљивости метала на првом месту је калај, а на другом сиви лив итд.

Таблица 2.1 Вискозност неких растопљених метала и воде (H_2O)

Материјал	Температура, °C	Динамичка вискозност η , kg/ms (Pa·s)
Чисто гвожђе	1600	0.0040
Угљенични челик	1555	0.0026
Сиви лив	1250	0.0021
Бакар	1200	0.0032
Алуминијум	800	0.0027
Цинк	500	0.0037
Калај	300	0.0017
Вода	20	0.0010

Течљивост метала и легура расте са температуром прегревања, тј. загревања легуре изнад ликвидус температуре, а између ликвидус и солидус температуре нагло опада.

Процењује се да течење лива престаја када се у опсегу између ликвидуса и солидуса појави око 20-25% кристала чврсте фазе.

За ливачку праксу је пре свега значајна течљивост измерена при температури ливења, тј. пуњења калупа. Ливкост такође дефинише способност лива (растопљеног метала) да попуни најудаљеније делове ливачког калупа.

Стандардизована проба ливкости различитих ливачких легура изводи се у спиралном калупу, а мерило ливкости је дужина изливане спирале до тренутка када престане даље течење. У ствари лив се насипа слободним падом у спирални калуп и мери колика је дужина изливане спирале (слике 2.1 и 2.2).

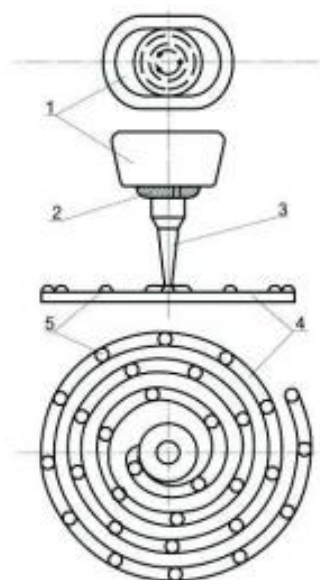
Течење метала успорава унутрашње трење, сами зидови калупа, као и отпор ваздуха и нарочито пад температуре лива у току ливења. Кад ови отпори надмаше хидростатички притисак растопа у уливном левку, онда течење лива престаје.

Уливна чаша



h- почетна висина изнад спирале

Слика 2.1 Спирални калуп за контролу максималне ливкости легура

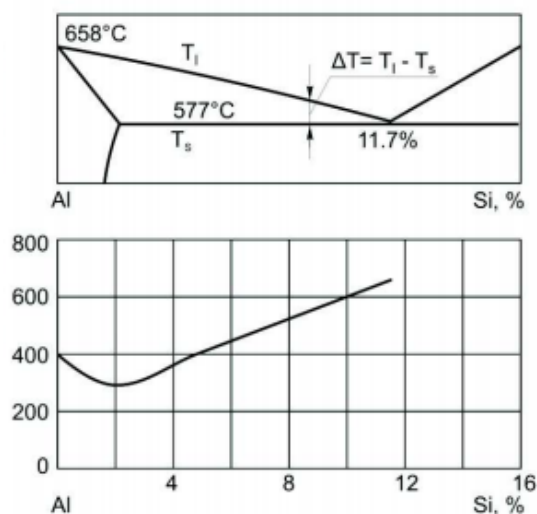


1-левак, 2- цедиљка, 3- уливак, 4- спирала, 5- брадавице за успоравање лива

Слика 2.2 Модел спиралног калупа за испитивање ливкости

На ливкост, као технолошку особину течних метала, утичу:

- 5) Густина лива, специфична топлота и латентна топлота очвршћивања, јер све наведено зависи од температурског интервала у коме лив остаје у течном стању;
- 6) Хемијски састав легуре одређује температурски опсег кристализације. Најбољу ливкост имају еутектичке легуре и легуре блиске њима;
- 7) Легуре са ширим опсегом очвршћивања имају рђавију ливкост која нарочито опада при појави првих кристала у облику дендрита. Пример утицаја састава легуре Al-Si на ливкост дат је на слици 2.3. Хемијски елементи садржани у неким легурама могу да повећају ливкост тако што снижавају температуру очвршћивања, као нпр. фосфор (P) у сивом ливеном гвожђу (P- одлаже појаву кристализације у растопу);



T_l , T_s – ликвидус и солидус температуре

Слика 2.3 Ливкост легуре Al-Si у зависности од интервала $\Delta T = T_l - T_s$ односно % Si у силумину

- 8) Вискозност утиче на ливкост, нарочито пре ламинарном струјању растопа. При довољној температури прегревања лива, утицај вискозности прекривају други фактори;
- 9) Површински напон лива утиче на ливкост само код танкозидних одливака;
- 10) Оксидни филмови и нечистоће засићене гасовима, веома неповољно делују на ливкост;
- 11) Температура ливења има велики утицај на ливкост будући да од ње зависи време у коме се метал налази у течном стању (за дати калуп и легуру). Ливкост се може повећати ако се повећа температура ливења. Уобичајено она износи 60-100°C изнад ликвидус температуре дате легуре;
- 12) Брзина струјања течног метала такође утиче на дужину пређеног пута, тј. на ливкост. Она се може повећати ако се пројектује већа висина и пресек вертикалног уливног левка или пак ако се делује спољашњом силом на течан метал, као нпр. при ливењу под притиском и центрифугалном ливењу;
- 13) Сам калуп утиче на ливкост својим физичким и хемијским особинама, квалитетом додирних површина зидова калупа са течним металом и брзином одвођења топлоте из растопа. Брзина хлађења одливка највише зависи од коефицијента акумулационе топлоте калупа:

$$b_k = \sqrt{c_k \cdot \rho_k \cdot \lambda_k},$$

где су:

c_k - специфична топлота материјала калупа,

ρ_k - специфична маса (густина) материјала калупа и

λ_k – термичка проводност материјала калупа.

Калуп са малом вредношћу b_k (нпр. песак-глина) одликује се спорим хлађењем течног метала, те се стога одлаже кристализација и добија боља ливкост него нпр. у кокили (веће b_k). На течљивост повољно утиче обваздушвање калупа у току ливења и предгревање калупа пре ливења (смањује се b_k).

2.3 Запреминске промене растопа и одливака при хлађењу

Промене запремине растопа у калупу у зависности од времена кад оне настају могуће је разложити на:

- 1) Запреминско скупљање при хлађењу течне фазе;
- 2) Промену запремине при очвршћивању (кристализацији);
- 3) Скупљање очврстлог одливка при даљем хлађењу до собне температуре;
- 4) Промену запремине при фазним трансформацијама полиморфних метала и легура (Fe, LG, C) у чврстом стању. То сакупљање, у опсегу од температуре ливења (T_{liv}) до ликвидус температуре (T_l), дато је изразом:

$$\epsilon_{vl} = \frac{V_{liv} - V_l}{V_l} = \alpha_{vl} (T_{liv} - T_l),$$

где су:

ϵ_{vl} – специфично запреминско скупљање течне фазе,

V_{liv} – запремина растопа при температури ливења и

V_l – запремина растопа при ликвидус температури.

Скупљање метала при хлађењу у течном стању одређено је физичким законима који се односе на смањење запремине течности са падом температуре.

Скупљање растопа при преласку течне у чврсту фазу може да доведе до појаве шупљина у одливку, тзв. лункера. Они настају кад нема довољно резервног лива у хранитељима да се попуни цела калупна шупљина. При формирању кристалних решетки између ликвидуса и солидуса појављују се празнине које у условима брзог хлађења могу остати непопуњене атомима компонената легуре. Оне легуре које при кристализацији излучују нову фазу мале специфичне масе могу се при кристализацији ширити. То тзв. ширење при очвршћивању настаје при кристализацији сивог и нодуларног лива јер се излучује графит густине $\rho = 2.23 \text{ g/cm}^3$, која је неколико пута мања од густине аустенитне металне основе ($\rho_{\text{аустенита}} = 8.08 \text{ g/cm}^3$).

Релативна промена запремине при очвршћивању (кристализацији) легура дате је изразом:

$$\epsilon_{VK} = \frac{\Delta V}{V},$$

где је: ΔV – промена запремине легуре при очвршћивању (скупљање- ширење).

2.4 Улегнућа услед шупљина (лункери)

Лункери су шупљине било на спољним површинама или унутар очврслог одливка, а настају због недостатка течног метала да се испуне удаљени делови калупа, јер лив у периферне делове одливка доспева на самом крају процеса ливења. Правилним обликовањем калупа и другим технолошким мерама, могу се удаљени делови који се задњи кристалишу локализовати у близини појила која садрже резерве течног метала.

2.5 Унутрашњи напони у одливцима

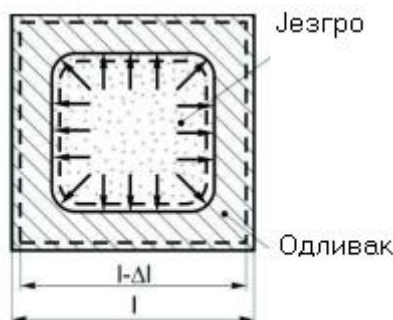
Унутрашњи напони у одливцима се јављају због неравномерне промене запремине у појединим деловима одливка услед хлађења различитим брзинама.

На појединим местима у одливку унутрашњи напони могу настати и због неслободног скупљања због локалних отпора дела калупа или језгра.

Спољашњи напони настају дејством спољних сила на одливак. У току хлађења одливка, то су силе отпора које потичу од калупа и језгра, јер спречавају дилатацију, те одливак остаје притиснут, односно изложен термомеханичким напонима - σ_z .

Ови напони, по правилу, јесу затежући, јер је одливак спречен (онемогуће, ометен) да се слободно шири, слично притиснутој опрузи која ће се истегнути кад се растерети.

Код одливака унутрашњи напони делују само дотле док постоје отпори против слободног ширења (дилатације). На слици 2.4 приказан је попречни пресек шупљег одливка чије слободно скупљање омета отпор језгра.



Слика 2.4 Ометено скупљање одливка

Величина унутрашњих напона може се одредити на основу идеалног скупљања Δl , које би у условима слободне концентрације настало при паду температуре за $\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta T$.

У области високих температура готово да нема релаксације напона.

Кад при хлађењу одливак доспе од високих у област повишених температура ($T < 650^\circ\text{C}$), почиње да важи Хуков закон па настаје релаксација напона према изразу $\sigma_s = \alpha \cdot E \cdot \Delta T$, те се део унутрашњих напона поништава еластичним деформацијама.

Унутрашњи напони настају и зато се поједини делови одливка неравномерно скупљају (за различите величине Δl). Резултанта свих унутрашњих напона у сваком тренутку једнака је нули будући да одливак све време остаје у равнотежи.

Термички (дилатациони) унутрашњи напони (σ_T) јављају се због различитих брзина хлађења појединих делова одливка. Зато произилазе разлике у дилатацијама неких делова одливка, јер се они не могу скупљати колико одговара законима физике. Ови напони би се сврстали у прелазне кад би стварали само еластичне деформације које би после постизања једнаке температуре у целом одливку ишчезли. Крајњи резултат биће термички напони притиска у танким деловима одливка, а у дебелим деловима затежићи напони.

2.6 Унутрашњи структурни (фазни) напони у одливцима (σ_f)

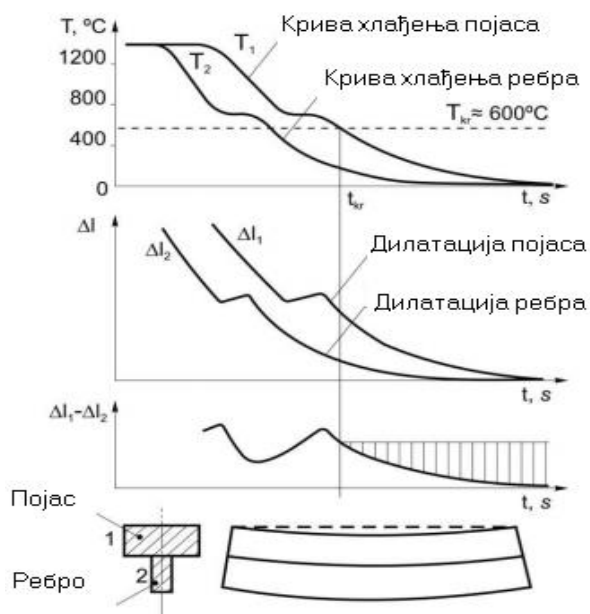
Ови напони се јављају при фазним трансформацијама, кад год локално створена новонастала структурна компонента има различиту специфичну запремину од првобитне и околне. Ако се структурне трансформације не одвијају истовремено у свим деловима одливка појавиће се унутрашњи напони. Типичан пример је делимична трансформација аустенита у мартензит у деловима одливка који се хладе брзином већом од критичне брзине хлађења- то доводи до локалног повећања специфичне запремина за 2.68%.

Резултујући ливачки напони представљају збир напона скупљања- σ_s , термичких - σ_T и структурних - σ_f :

$$\sigma = \sigma_s + \sigma_T + \sigma_{str}$$

2.7 Кривљење (савијање) одливка

Ако се унутрашњи напони поклапају са осама симетрије одливка, они се задржавају у одливцима као заостали и никада се не испољавају осим кад дође до њиховог суперпонирања (сабирања) са радним напонима. Кад су заостали напони асиметрични настаће деформације одливка- кривљење. Пример томе је одливак у облику Т- профила (сл. 2.5), који има танко ребро (2) и дебео појас (1). При очвршћивању овог одливка почетне разлике у скупљању на високим температурама изравњавају се пластичним деформисањем.



Слика 2.5 Појава деформација при скупљању одливка (Т- профила неједнаке дебљине)

Видљиве деформације настају од тренутка када температура целог носача падне испод $T_{кр}$ која одваја пластичне од еластичних деформација. Те деформације одливка (према слици 2.5) појављују се од критичног тренутка кад у целом носачу температура опадне испод 600°C . До тога долази у моменту кад у области еластичних деформација улази дебла појас, те се његово скупљање убрзава. Разлика скраћења дебелог појаса и танког ребра $\Delta l_1 - \Delta l_2$, после критичног тренутка, доводи до појаве напона који савијају Т профил ливеног носача. Да би се спречило савијање ливених носача потребно је при континуалном ливењу производити симетричне профилне носаче исте дебљине, који се равномерно хладе истом брзином у свим тачкама.

2.8 Прслине и пукотине

Грешке целовитости одливка у које спадају прслине и пукотине, појављују се по правилу у одређеним температурским интервалима при очвршћивању и даљем хлађењу одливка.

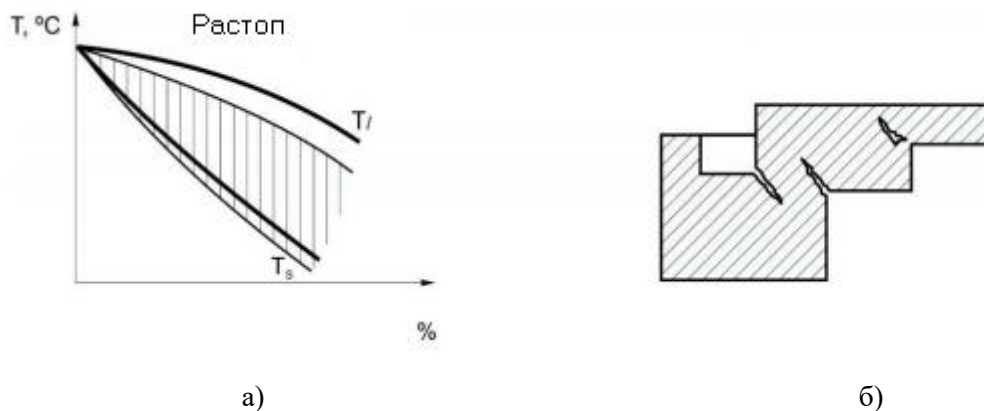
Кристализационе прслине управо настају у температурском интервалу очвршћивања у периоду кад првобитно образовани кристали даље расту на рачун преосталог растопа.

Пошто при томе на већ формиране кристалне решетке делују и затежући напони, то долази до декохезије (разарања) тек насталих кристалних решетки, јер се течна фаза не може одупрети дејству затежућих напона (између ликвидус и солидус температура, легуре

су у двофазном стању: чврстом и течном). Кад се одливак охлади испод солидус температуре, течна фаза нестаје, те се материјал може одупрети и силама затезања.

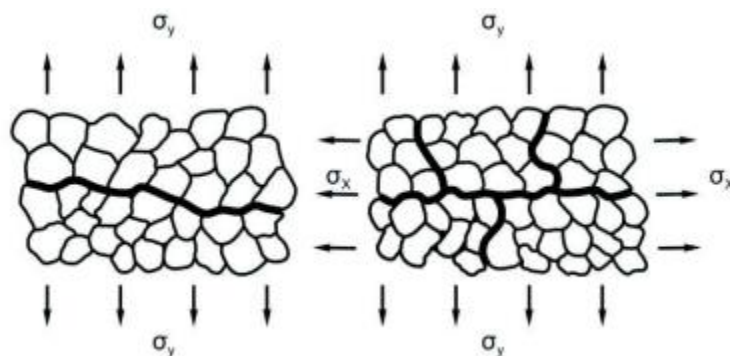
Зато се при даљем хлађењу не стварају нове прслине, али већ настале се могу даље ширити. Температурски интервал између ликвидуса и солидуса, у коме настају ове тзв. вруће прслине, приказан је шрафираним површином на слици 2.6а.

Друга температурска област у којој могу настати пукотине јесте област нижих температура кад легуре имају мању пластичност и жилавост (дуктилност). С обзиром на то да ове грешке целовитости настају при температури испод 300°C зову се хладне прслине (пукотине).



Слика 2.6 Ефективни температурски интервал појаве и раста врућих прслина (а) и схема топлих прслина (б)

Разлика између те две врсте прслина је у следећем. Солидусне (вруће) прслине се образују на местима најмање чврстине тј. на границама металних зрна, нагле промене пресека (слика 2.6б) а њихов ток је интеркристални (сл. 2.7) а површине прелома су оксидисане. Хладне прслине су транскристалне, што значи да се простиру преко металних зрна, али и између њих. Једносмерни затезући напони стварају прслине управне на правац деловања напона (слика 2.7-лево). Кад је у питању дејство напона затезања у два управна правца (σ_x и σ_y), прслине ће опет бити међукристалне али разгранате и криволинијског облика (слика 2.6-десно).



Слика 2.7 Облик прслина при једноосном и двоосном затезању

Склоност метала и легура ка појави прслина је већа код материјала који имају већи напон течења (R_p), модул еластичности (E) и коефицијент термичког ширења (α).

Прслине се чешће јављају код калуца са ниском вредношћу коефицијента акумулације топлоте (b_0). Стога су за главне ливачке метале и легуре, дате термофизичке константе E , α и b_0 у табелици 2.2.

Таблица 2.2 Неке термофизичке константе ливачких легура

Материјал	Температуски интервал, °C	Коефицијент термичког ширења, $\alpha \cdot 10^{-6}$, K ⁻¹	Коефицијент b_0 , m ⁻² s ^{1/2} K ⁻¹	Модул еластичности, $E \cdot 10^3$, МПа
Челик	20-100	11.5-12.5	12000-15000	210
	20-600	12.0-14.5		
SL	20-100	8.0-9.0	13000-15000	60-140
	20-600	12.0-14.0		
Бакар	20-100	16.6	36000	≈127
	20-1060	20.3		
Алуминијум	20-100	23.7	23000	66-68
	20-500	23.7		
Магнезијум	20-100	26.1	18000	42-45
	20-500	29.9		

Највећу отпорност имају челици са садржајем угљеника 0.17 до 0.20%, јер су веома дуктилни. Склоност ка врућим прслинама код челика са већим садржајем сумпорних и силикатних примеса по границама металних зрна, тј. код челика са високим % S, Si, C.

Сива ливена гвожђа (SL и NL) се при кристализацији шире, па се не може говорити о прслинама при ливењу у сличном опсегу температура као код челика.

Пукотине се могу појавити при хлађењу у еластичној области (испод 600°C код средњеугљеничних челика). Настају ако унутрашњи напони надмаше јачину на кидање (мала дуктилност, нема резерве пластичности, $R_m - R_{p0.2}$).

Код материјала велике дуктилности, појава напона већих од напона течења, довешће до трајних деформација без појаве пукотина.

Код готових одливака произведених са заосталим унутрашњим напонима, пукотине могу настати и после хлађења до околне температуре, ако се одливци изложе релативно малим спољним силама или ако се поремети равнотежно стање напона у одливку.

3.0 ПРЕГЛЕД НАЈВАЖНИЈИХ МЕТОДА ЛИВЕЊА

Технологију прераде метала ливењем, према томе и ливење, можемо поделити према:

- Врсти лива,
- Врсти калуца,
- Начину ливења,
- Начину рада,
- Начину производње и
- Годишњој производњи.

Према врсти лива, ливење се може изводити у две основне групе:

- Ливење одливака из легура гвожђа
 - Ливење одливака из легура обојених метала
- Ливење легура гвожђа делимо на ливење:

- Сивог лива,
 - Белог лива,
 - Темперованог лива и
 - Челичног лива
- Ливење легура обојених метала делимо на:

- Ливење легура тешких метала и
 - Ливење легура лаких метала.
- Ливење легура тешких метала укључује производњу одливака:

- 1) Легура бакра (бронзи, месинга итд.),
- 2) Легура никла,
- 3) Легура цинка,
- 4) Легура калаја и тсл.

Ливење легура тешких метала укључује производњу одливака од:

- 1) Алуминијумских легура и
- 2) Магнезијумових легура.

Према врсти калупа могу бити:

- Једнократни калупи,
- Полупостојани калупи,
- Постојани калупи,
- Обртни калупи,
- Хлађени калупи за континуални лив,
- Хлађени калупи за полуконтинуални лив и
- Специјални калуп за шкољкасти лив.

Према начину ливења:

- Ливење у калупима,
- Ливење под притиском,
- Центрифугално ливење и
- Ливење топљивим методама

Према начину рада:

- Ливнице ручне производње - само релативно мали број операција је механизован, а израда калупа је ручна;
- Ливнице машинске производње - у којима се већи број операција изводи помоћу машина.

Разумљиво је да врста лива утиче на цео ток производње, те према томе, припрему песка, врсте песка, избор агрегата за топљење, начина уливања, сушење калупа и др., те се мора прилагодити врсти лива.

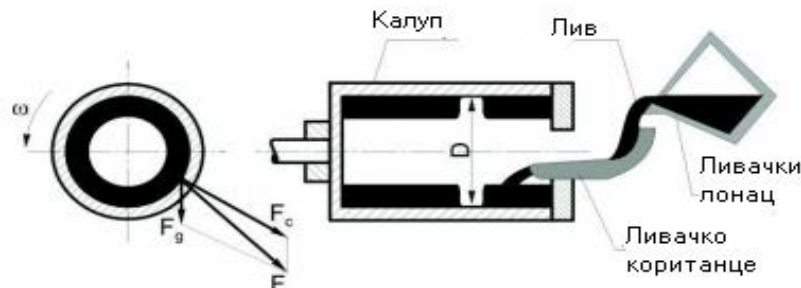
3.1 Центрифугално ливење

Код ове методе ливења, течан метал очвршћава у калупу који се обрће. На тај начин неметални укључци и гасови издвајају се на унутрашњој страни шупљег одливка, јер је густина неметалних укључака знатно мања од густине метала. Зато се при центрифугалном ливењу добија гушћи и хомогенији лив него при гравитационом ливењу.

Центрифугално ливење углавном се примењује за израду шупљих цилиндара и других ваљкастих делова. Према положају осе ротације разликују се две врсте центрифугалног ливења:

- 1) Поступак са ротацијом калупа око хоризонталне осе (сл. 3.1) и
- 2) Поступак ротације калупа око вертикалне осе (слика 1.10).

При центрифугалном ливењу у хоризонталном положају осе ротације, број обртаја калупа мора да буде довољно велики да би се остварио што бољи контакт течног метала са унутрашњим зидом калупа. Услов за то је да центрифугална сила (F_c) која делује на метал, буде знатно већа од силе земљине теже (гравитационе силе - F_g).



Слика 3.1 *Схема центрифугалног ливења са хоризонталном осом ротације*

Однос центрифугалне силе (F_c) према сили земљине теже (F_g) зове се коефицијент гравитације (k):

$$k = \frac{F_c}{F_g} = \frac{m \frac{v^2}{R}}{mg} = \frac{\frac{R^2 \omega^2}{R}}{g} = \frac{R \omega^2}{g} = \frac{R \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2}{g} = \frac{R \cdot n^2 \cdot \pi^2}{900 \cdot g} \approx \frac{R \cdot n^2}{900},$$

јер је: $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$, где је: n - број обртаја калупа у минутима.

Кад се узме R у центриметрима и $g = 9.81 \text{ cm/s}^2$ добија се израз за минимални број обртаја калупа:

$$n = 30 \sqrt{\frac{k}{R}},$$

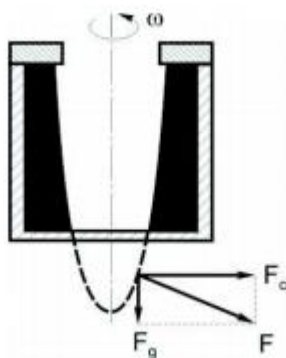
где је:

R - унутрашњи полупречник калупа у см и

k - коефицијент гравитације који се усваја према врсти калупа:

k=	75- за калуп са пешчаном облогом
	80- за метални калуп
	100- за легуре са уским температурским интервалом очвршћивања

При ливењу са вертикалном осом ротације (сл. 3.2) унутрашња површина зида одливка поприма параболичан облик. Експериментима се дошло до закључка да је напгоднији број обртаја који не даје велике разлике у дебљини зида. Стога је пожељно да однос одливка према његовом пречнику не буде већи од 1:1,5, јер би се иначе појавиле знатне разлике у дебљини одливка при дну и врху одливка.



Слика 3.2 Схема центрифугалног ливења са вертикалном осом ротације

3.2 Прецизно ливење

У ове методе договорно се сврставају технологије ливења које омогућавају да се производе одливци од разних ливачких легура, са површинским квалитетом $R_a \leq 10-20 \mu m$, и димензијским одступањима реда величине десетих делова милиметра.

У ове методе спадају:

- 1) Ливење топљивим моделима (± 0.3 до $\pm 0.1 \text{ mm}$);
- 2) Ливење под притиском (± 0.05 до $\pm 0.2 \text{ mm}$);
- 3) Ливење у гипсаним калупима (± 0.13 до $\pm 0.25 \text{ mm}$);
- 4) Ливење у керамичким калупима (± 0.10 до $\pm 0.3 \text{ mm}$);
- 5) Ливење у шкољкастим калупима (± 0.25 до $\pm 0.38 \text{ mm}$).

У заградама су уписана одступања димензија од номиналних која у одливцима одливени у пешчаним калупима износе (± 1 до $\pm 2 \text{ mm}$).

3.2.1 Ливење топљивим моделима

Овај метод се примењује још од претхришћанских времена, али се у току протеклих векова усавршавао како у погледу технике, материјала за калуповање, ливачких прибора и опреме тако и по методима лабораторијске контроле.

Поступци прецизног ливења одвијају се следећим редоследом:

- Израда матичног модела (матрице) и модела уливног система; модели служе само за једнократну употребу и углавном се израђују од мешавине воскова, воштаних супстанци, масних киселина или синтетичких материјала;

- Повезивање (лемилицом) модела одливака са моделом уливног система у моделски склоп;
- Израда једноделног керамичког калупа;
- Уклањање воштаног модела путем топљења;
- Загревање калупа;
- Насипање калупа растопљеном ливачком легуром;
- Чишћење одливака од керамичке масе;
- Одвајање уливног система.

Матрице за израду топљивих модела. За добијање воштаних модела потребно је најпре израдити матични модел који мора да буде дводелан или вишеделан, да би готов очврсли модел могао да се извади из матрице. Метална матрица се може израдити на два начина:

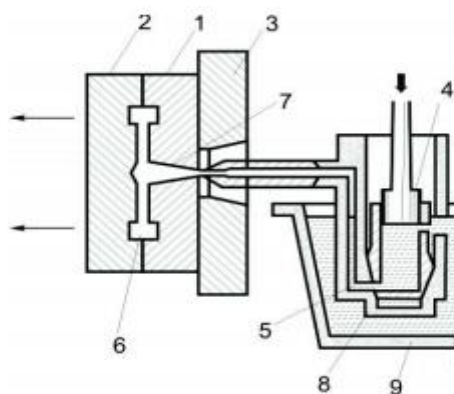
- Механичком обрадом и
- Ливењем.

Избор поступка зависи од величине производне серије, сложености облика и од расположиве опреме за израду матрице.

3.2.2 Ливење под притиском

Методи ливења под притиском заснивају се на пуњењу кокиле (металног калупа) течним металом под спољашњим притиском (сл. 3.3).

Ливење под притиском се разликује од гравитационог ливења у кокилама по томе што су калупи израђени од висококвалитетног челика са уским толеранцијама димензија за све делове калупа. Зато је израда калупа веома скупа, па је њихова примена економски оправдана само за масовну производњу ситних делова. Под притиском се лију нискотопљиве легуре: легуре олова, калаја, цинка, алуминијума и магнезијума. Легуре гвожђа нису подесне, јер се због брзог хлађења добијају одливци крти као стакло, а због високе температуре ливења гвожђа, растоп нагриза зидове калупа.



- 1- непокретни део калупа, 2- покретни део калупа, 3- предње кућиште машине, 4- радни клип,
5- комора под притиском, 6- калупна шупљина, 7- уливни канал, 8- загрејани цилиндрични
резервоар са уливним каналом, 9- лонац

Слика 3.3 *Схема машине за ливење под притиском нискотопљивих легура*

3.2.3 Ливење у гипсаним калупима

Особине гипса замешаног са водом омогућују да се он употреби за израду калупа и језгара при производњи одливака искључиво од легура алуминијума.

Негативна особина овог калупног материјала је веома мала пропустљивост готових калупа. Повећање пропустљивости калупа и језгара може се постићи на три начина:

- Додавањем гипсаној маси материја које својим физичким деловањем доводе до пораста пропустљивости;
- Применом додатка за печење, који омогућују добијање тзв. пенастог гипса са знатно већом пропустљивошћу;
- Применом посебне физичко-хемијске обраде гипсаних калупа и језгара којом се добија макроструктура која има довољну пропустљивост.

Примена гипсаних калупа и модела. Гипсани модели и калупи углавном се користе за одливке од легура алуминијума. Могуће је произвести одливке веома сложеног облика, доброг квалитета површина, као и уских толеранција димензија. Маса одливка може бити ограничена опремом којој располажу ливнице и економским разлозима.

Наливање гипсаних калупа може се извести гравитационо, центрифугалним поступком или под притиском. Језгра од гипса се могу употребити и код других технологија ливења, нпр. при ливењу у кокилама или пешчаним калупима.

3.2.4 Ливење у керамичким калупима (по Shawa)

Основа процеса Shawa је израда керамичких калупа и језгара од материјала који имају знатну отпорност на термичке ударе, веома добро одсликавање облика, модела, велику димензиону тачност, као и добар квалитет површина. Ови се калупи израђују претежно као дводелни, имају трајне моделе, али калупи служе за једнократно ливење. Помоћу калупа и језгара припремљених по методи Shawa могу се производити одливци од свих ливачких легура, а пре свега од легура са високим температурама топљења и маса одливака до 3000 kg.

Калупна маса Shawa састоји се из ситнозрнастог керамичког материјала и продуката хидролизе етил-силиката који је у ствари желатинска маса и служи као везиво.

Отврдњавање калупа одвија се по прецизно одређеној процедури. У зависности од потребног времена желатирања, калупна маса у почетку прелази у гумасто-еластичну масу, а затим после жарења добија знатну механичку отпорност.

Технологија Shawa, у свом првобитном облику, изискивала је знатне материјалне трошкове. Зато је разрађено више варијанти од којих се највише примењују метода са две врсте калупне масе; једна је шамотна маса са воденим стаклом која отврдњава помоћу CO₂, а друга је маса Shawa коришћена само за део калупа у додиру са моделом, дебљине око 10 mm.

Материјали за припрему калупне масе Shawa су: керамички материјали, желатинско средство и везиво- хидролизоване етил-силикат. Рецептūra припреме везива, желатинског средства, као и калупне масе заштићени су многим патентима. Етил-силикат као везиво може се набавити на тржишту. У табелици 3.1 дати су ватростални материјали, који се примењују у процесу Shawa.

Таблица 3.1 Ватросталне керамике за процес Shawa

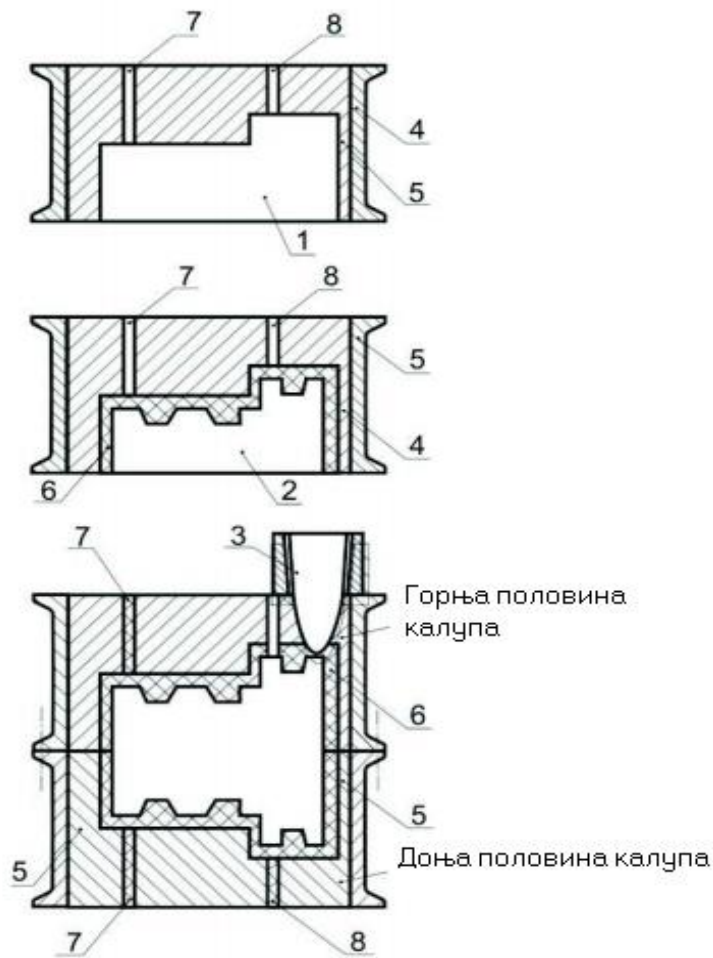
Врста материјала	Хемијска формула	Температура топљења, °C
Магнезијум оксид	MgO	2800
Цирконијум оксид	ZrO ₂	2677
Цирконијум силикат	ZrO ₂ ·SiO ₂	2420
Оксид кацијум-цирконијум	CaO ·ZrO ₂	2345
Минерали	MgO·Al ₂ O ₃	2135
Оксид алуминијума	Al ₂ O ₃	2015
Мулит	3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂	1830
Топљен кварцни песак	SiO ₂	1723

Као желатинско средство примењује се: амонијачна вода, амонијачне соли, карбиди или органске соли амонијака.

Време везивања калупне масе Shawa зависи од врсте, концентрације и количине очвршћивача додатог одређеној количини мешавине за везивање и керамичких материјала.

Материјали примењивани за испуну калупа су шамотне масе (димензија зрна 3-5 mm) са додацима:

- Везива (силикат натријума- водено стакло у износу 7-10% у односу на растресит материјал и
- Евентуални додаци који олакшавају вађење модела (најчешће силиконске емулзије или воскови растворљиви у органским растворачима).



1- увећан модел, 2- стварни модел, 3- наставак за уливну чашу, 4- калупна кутија, 5- шамотна маса, 6- маса Shawa, левак за масу Shawa, прелив (одушак)

Слика 3.4 Калуп по методи Shawa

Модел за калуповање могу бити израђени од метала, дрвета или полимерних материјала. Квалитет произведених одливака зависи од модела, његове конструкције (материјала и прецизности израде).

Уливни систем за калупе Shawa треба прорачунати на сличан начин као и за ливење појединих легура у сушеним пешчаним калупима, узимајући пак у обзир:

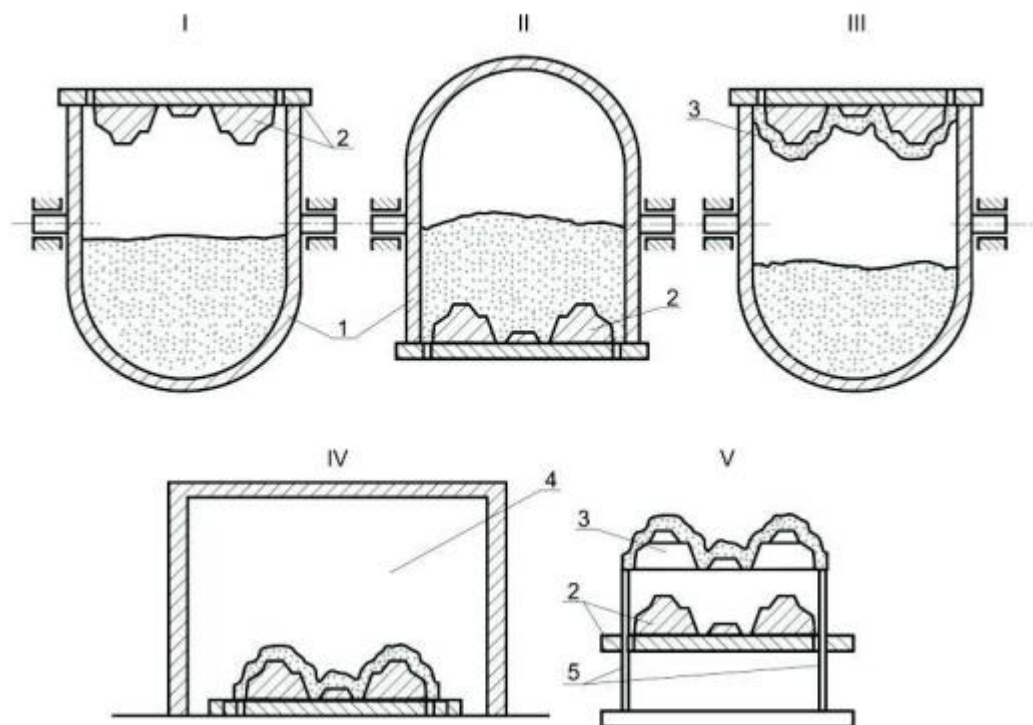
- Већу отпорност калупа на термичке и механичке ударе, што омогућује сипање течног метала директно у калупну шупљину;
- Мања пропустљивост калупа, што захтева пажљиво обезваздушвање и примену прелива.

3.2.5 Ливење у шкољкастим калупима (по Croningu)

Шкољкасти калупи се израђују од мешавине чистог сувог кварцног песка, уз додатак 3-10% везивног средства - фенолформалдехидне синтетичке смоле. Калупна шупљина се добија применом металне моделне плоче.

Поступак калуповања приказан је на слици 3.5. Најпре се моделна плоча премазује ватросталним (силиконским) уљем (кључа тек при 400°C). Затим се ливачка маса ставља у посуду (1), а на отвор посуде причвршћује загрејана моделна плоча (2).

Даље се посуда окреће за 180° , што омогућава да ливачка маса прекрије модел и да се смеша загреје, а смола истопи и међусобно повеже зрнца песка. Од времена задржавања у положају II зависи дебљина формиране шкољке на моделној плочи (4-10 mm). Кад шкољка достигне потребну дебљину, посуда се враћа у положај III, а преостала маса пада на дно посуде. Најзад се плоча одваја од посуде и уноси у пећ (IV), да се шкољка испече. Пошто се то заврши, шкољка се одваја од моделне плоче (2), посебним избијачима (5) (положај V). Од овако добијених шкољки склапа се ливачки калуп, с тим што се полушкољке међусобно лепе или стежу. Наливањем течног метала у калуп, сагорева везивна смола те се после очвршћивања одливка шкољка распада, а одливак остаје чист. Поступак је погодан за танкозидне одливке и одливке са ребрима за хлађење, као што су цилиндри ваздушно хлађених мотора СУС.



1- резервоар смесе, 2- моделна плоча, 3- готова полушкољка, 4- пећ за печење шкољке,
5- избијачи шкољке

Слика 3.5 Поступак израде шкољкастих калупа

3.3 Ливење у пешчаним калупима

Ливење у пешчаним калупима (ливење у песку) је један од највише коришћених поступака за добијање одливака; 70-75% свих одливака који се користе у машинској индустрији су добијени овим начином ливења. Основна карактеристика ливења у песку је што могу да се прозиводе одливци веома сложених облика, различитих маса (од неколико грама до вишетонских), могу да се лију гвожђа, челици, легуре обојених метала. Ливење у пешчаним калупима се одвија уз једнократну употребу калупа, који се после кристализације (очвршћавања) одливака разара. Процес ливења у песку подразумева извођење одређених операција, као што су:

- 1) Израда модела;
- 2) Припрема основних сировина;
- 3) Топљење припремљених сировина;
- 4) Припрема материјала за израду калупа и језгара;
- 5) Израда калупа и језгара;
- 6) Изливање метала у припремљене калупе;
- 7) Истресање одливака;
- 8) Чишћење и дорада одливака;
- 9) Контрола квалитета одливака.

Модел служи за образовање унутрашње шупљине у калупу и има исту спољашњу конфигурацију као и одливак, који треба да се добије ливењем. Модел је прототип, копија одливка, али се од њега разликује по томе што је нешто већих димензија (због скупљања метала и коначне машинске обраде одливка).

Израђује се из једног или више делова, што пре свега зависи од сложености његовог коначног облика, као и погодности његовог вађења из калупа при изради шупљине у калупу. Ако је модел израђен из више делова, онда се ти делови међусобно спајају по разделним (подеоним) површинама. Горња половина модела увек садржи испусте, а доња одговарајуће отворе, тако да је спајање модела довољно чврсто. Унутрашња контура одливака се добија помоћу језгара која се посебно припремају. Радне површине модела и језгара треба да буду глатке и чисте, да би се при изради калупа добили јасни и оштри обриси модела. За израду модела могу да се користе дрво, метал, пластичне масе, гипс, цемент, бетон и др. Избор материјала за израду модела зависи од врсте ливења и сложености дела који се лије. У појединачној и малосеријској производњи модел се обично прави од дрвета, док је у масовној производњи економичније користити модел од метала због његове веће чврстоће и димензионалне стабилности.

Модел се прави на основу технолошког цртежа елемента који треба да се лије. На технолошком цртежу поред изгледа одливка треба да буду назначене разделне површине модела, положај модела при калуповању, положај одливка при изливању течног метала у калуп, закошења, додаци за скупљање као и за машинску обраду.

За израду калупне и језгрене мешавине користи се ливнички песак, природни и вештачки, који се састоји од кварцног песка, везивних средстава и различитих помоћних материјала.

Квалитет сваког одливка директно зависи од квалитета калупне мешавине (многобројна испитивања су показала да је чак 50% грешака, које се јављају на одливцима, последица калупне мешавине лошег квалитета). За припремање мешавине за

калупе и језгра користе се многобројни уређаји као што су: транспортери, сушаре, сита за сејање, дробилице и млинови, магнетни сепаратори, уређаји за регенерацију мешавине, мешалице и уређаји за растресање мешавине. При изради калупа и језгара користи се ливнички алат који је разноврстан, а дели се на основни и помоћни. Основни алат чине модели, моделне плоче, кутије за језгра, алат потребан за израду калупа и језгара. Под помоћним алатом подразумевају се калупници, плоче, алат за сушење, пресовање итд.

Песак је основна компонента калупних и језгрених мешавина. Основни састојак песка за калуповање је кварц (SiO_2) који је изразито ватросталан ($T_t > 1700^\circ\text{C}$). Зрнца кварца су сферног или угластог облика чија је гранулација 0,06-2 mm, с тим што се за језгрену мешавину користе крупније честице. Песак за калуповање садржи 90-98% чистог кварца, док остатак чине различите примесе, које поред осталог утичу и на његову обојеност.

Све примесе имају нижу температуру топљења од кварца, што значи да смањују његову ватросталност. Основни показатељи песка за калуповање су: састав зрна, садржај глине и примеса, гасна пропустљивост и ватросталност.

Глина се употребљава као везивно средство за калупне и језгрене мешавине. Она ствара опну око сваког зрна песка и на тај начин омогућава везивање појединих зрна, али истовремено обезбеђује и неопходну чврстоћу и пластичност (могућност обликовања).

Калупи и језгра се израђују ручно или машински. Калупи могу да се израде у поду ливнице, од глине, помоћу шаблона, од језгара, у рамовима или специјалним поступцима, док се језгра израђују пуњењем и набијањем језгрене мешавине у језгренике (језгрене кутије).

Основне операције које се изводе при изради калупа су:

- Пуњење и набијање калупа;
- Израда уливног система и вентилационих отвора;
- Вађење модела;
- Дорада калупа;
- Затварање калупа и отежавање.

Као сировине за добијање одливака од челика или гвожђа (челични лив, сиви лив) користе се: сирово гвожђе, старо гвожђе, повратни материјал из ливнице, феро-легуре и додаци као што су ливнички кокс, топитељи и руда гвожђа.

Течни метал, који је уливен у калупну шупљину, заузима њену конфигурацију и почиње да се хлади. Након достизања ликвидус температуре започиње прелаз течног метала у чврсто стање. Брзина очвршћавања одређена је брзином одвођења топлоте и карактером пораста удела чврсте фазе током времена. Очвршћавање одливака је последица кристализације легуре, тј. стварања и раста кристала. По достизању дате температуре при хлађењу (карактеристична за сваки метал и легуру), одливци се истресају из калупа у циљу ослобођења од калупне и језгрене мешавине. Истресање одливака може да се изводи ручно или механички помоћу вибрационих решетки. Одливци у ливеном стању имају крупнозрнасту структуру, велику тврдоћу, малу јачину и ниска механичка својства пластичности, као и значајне заостале унутрашње напоне. Структура и својства одливака могу битно да се побољшају термичком обрадом (жарењем, нормализацијом, понекад побољшањем - каљењем и високим отпуштањем). Избор одређене термичке обраде зависи од врсте легуре, конфигурације одливка и техничких услова. Уливање растопљеног метала у калупну шупљину приказано је на фотографији 3.6.



Слика 3.6 Приказ ливења у пешчаним калупима

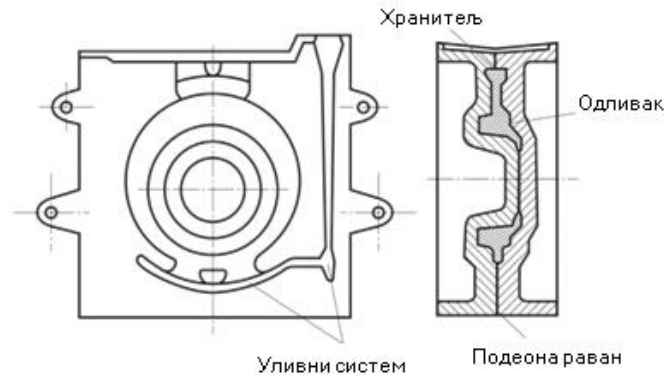
3.4 Ливење у трајним калупима

Данас се за вишеструко ливење, употребљавају:

- Метални калупи и
- Графитни калупи.

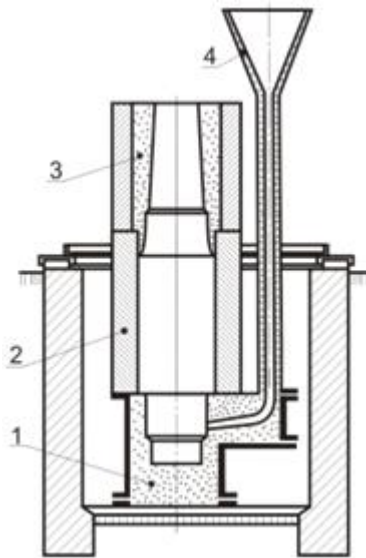
Више се употребљавају трајни метални калупи (кокиле) него графитни. Радна површина кокила је при ливењу изложена деловању високих температура услед додира са растопљеним металом. Стога се кокиле праве од материјала отпорних на високим температурама, на брзе температурске промене и на пораст запремине течног метала. Највише коришћен материјал за израду кокила је перлитно-феритни сиви лив без слободног цементита. Може се такође користити и нодуларно ливено гвожђе, легуре алуминијума или бакра (најскупље). Кокиле се израђују ливењем или поступцима машинске обраде. Начин израде кокила бира се према материјалу кокиле, захтеву за прецизност димензија и броју произведених кокила.

Кокиле морају да буду тако конструисане да омогуће лако вађење очврслог и охлађеног одливка. Подеона равна може бити водоравна или вертикална. За спајање делова кокиле у једну целину користе се разни механизми као нпр. Ексцентрични затварач, лабудов врат, палице и тсл. Иако се метални калупи (сл.3.7) заштићују ватросталним бојама, кокиле се, при дуготрајном коришћењу, мање или више хабају зависно од материјала који се лије и броја изливених делова. Радна температура кокиле је веома важна са металуршког гледишта и века трајања кокиле. Стварна радна температура, тј, температура предгревања за легуре алуминијума је око 150-200°C, за сиви лив 200-270°C. Кокилни лив се користи у серијској производњи одливака са једноставном подеоном равни. Највећу примену налази у авио и ауто индустрији и при изради кућишта електромотора итд.



Слика 3.7 Метални калуп (кокила)

Ливачки калуп за ваљке састоји се из пешчаних калупа: доњег (1) и горњег (3) као и кокиле (2) (сл. 3.8). У калупу (1) лије се рукавац ваљка, а у калупу (3) спојница преко које ваљак, у радним условима, добија погон. При спором хлађењу, својствено пешчаном калупу добија се структура сивог ливеног гвожђа, а у кокили (2) структура ће бити бело ливено гвожђе велике тврдоће неопходне за радни део ваљка. Кокиле се изнутра премазују графитом да се ливено гвожђе не би приварило за зидове кокиле.



1- доња калупница, 2-челична кокила, 3- горња калупница, 4-уливни левак

Слика 3.8 Ливење железарских ваљака у кокили (2) и пешчаним калупима (1, 3)- дорада 1 и 3

4.0 ПРЕГЛЕД МЕТАЛА И ЛЕГУРЕ ЗА ЛИВЕЊЕ

Овде се даје само кратак преглед најважнијих ливачких материјала. Метални материјали за ливење обично се разврставају на легуре гвожђа и легуре обојених метала:

- 1) Легуре гвожђа за ливење (сиви лив, нодуларни лив, темпер лив и челични лив);
- 2) Легуре алуминијума (силумин и друге);
- 3) Легуре бакра (бронза, месинг);
- 4) Легуре магнезијума;
- 5) Легуре титана;
- 6) Легуре других метала (Zn, Pb, Ni-Cr, Sn) и осталих метала.

4.1 Ливачке легуре гвожђа

Група легура познатих под називом ливена гвожђа у ствари су тројне легуре Fe-C-Si, које при преласку из течног у чврсто стање пролазе кроз еутектичку трансформацију стварајући тзв. графитну еутектику која се састоји из аустенита (граничног чврстог раствора C у Fe од 2,03%) и графита. Ливена гвожђа садрже 2-4% C, 0,5-3% Si, као и Mn, P и S (остало Fe).

Разликују се следеће врсте ливених гвожђа: сиво ливено гвожђе (SL), темперовано ливено гвожђе (STeL), нодуларно ливено гвожђе (NL), компактно (вермикуларно) ливено гвожђе (VL) и бело ливено гвожђе (BLG).

Сиво, темперовано, нодуларно и вермикуларно ливено гвожђе у структури садрже слободан угљеник у виду графита, те се сврставају у сива графитна ливена гвожђа, док бело ливено гвожђе садржи угљеник у облику цементита (Fe_3C) па је стога то тврда и крта легура. Површина прелома овог материјала је беле боје, па отуда потиче и назив ове легуре.

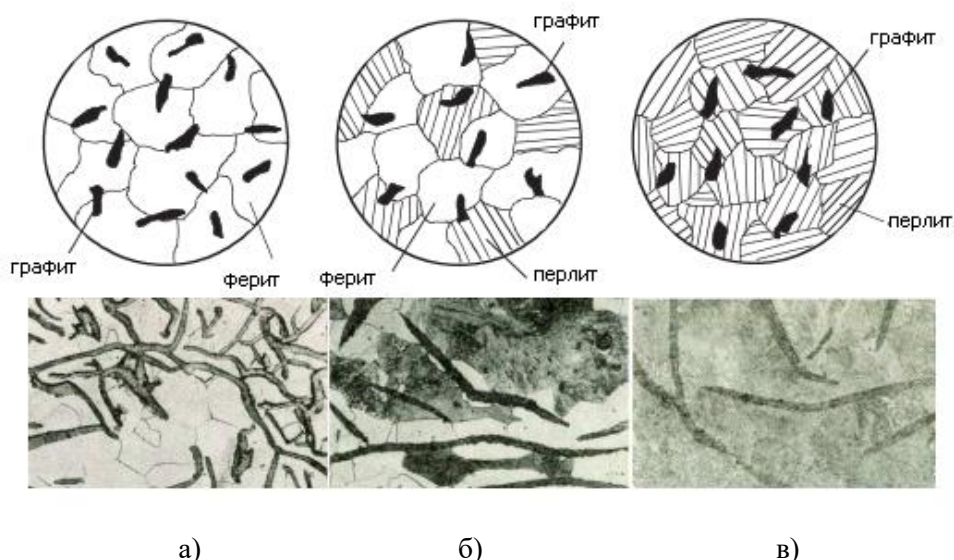
4.2 Сиво ливено гвожђе

Сиво ливено гвожђе очвршћава по стабилном дијаграму стања у коме се део угљеника јавља у слободном стању, у облику графитних ламела, које су међусобно повезане у гомилице или еутектичке ћелије спојене у графитне ламеле. Просторна скица графитне ламеле (а) и микроструктура сивог лива дате су на слици 4.1. Тачка у којој су ламеле повезане у ембрион представља клицу (заметак) кристализације графита насталог у почетку очвршћивања. У ствари, у виду графитних ламела издваја се вишак угљеника који се није могао растворити у цементиту. Део угљеника садржан у ливеном гвожђу (око 0,8%) образује металну матрицу код сивог лива која може бити: феритна (сл. 4.2а), феритно-перлитна (сл. 4.2б) и перлитна (сл. 4.2в). Пошто графитне ламеле не преносе затежуће напоне, а пресецају металну основу (матрицу) ливеног гвожђа, то се одражава на релативно малу јачину на кидање, као и на ниску вредност истегљивости и жилавости (дуктилности), али не и на притисну јачину, јер и графит преноси силу притиска.



Слика 4.1 Изглед графитне ламеле у сивом ливеном гвожђу (а) и микроструктура перлитног сивог ливеног гвожђа (б)

Сиви лив се према јачини на кидање сврстава на трговачки и машински сиви лив. Трговачки се означава SL000, а машински се дели на класе: SL100, SL150, SL200, SL250, SL300, SL350 и SL400. Бројке иза ознаке SL односе се на јачину на кидање у МПа одређену опитом затезања на проби пречника Ø20 mm. Три задње класе SL300, 350 и 400 добијају се модификацијом при температури већој од 1400°C. Као модификатор се најчешће користи калцијум-силикат (SiCa30). Он се додаје течном ливу било у ливачком лонцу, уливној чаши или у кориту, што доприноси стварању већег броја центара кристализације и смањењу величина графитних ламела. Уопштено супстанце које се додају течном металу да би се створио већи број центара кристализације зову се инокуланти.

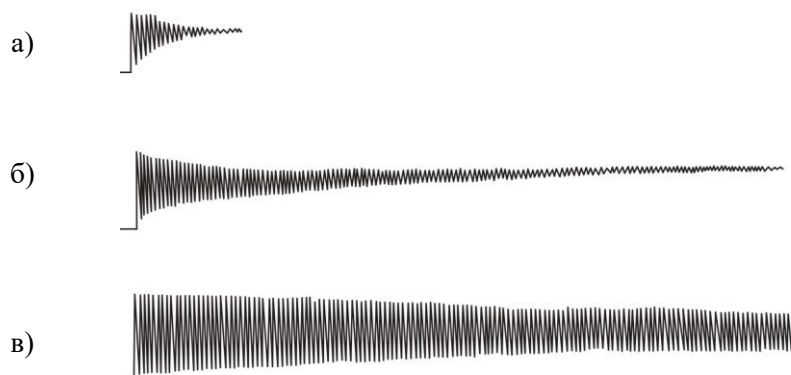


Слика 4.2 Структура феритног (а), феритно-перлитног (б) и перлитног (в) ливеног гвожђа (горешематски приказ, доле-металографски снимак)

За производњу наведених врста ливених гвожђа користи се сиво сирово гвожђе (ливено гвожђе из високе пећи), старо гвожђе, повратни материјал из ливнице, феро-легуре, легирајући додаци, модификатори, дезоксидатори и топитељи. Смеса сировина које се убацују у пећи за производњу лива зову се шаржа, а метални делови смесе-метални уложак.

Течно гвожђе за одливке, тј. за наливање ливачких калупа добија се топљењем шарже у специјалним пећима: куполним или електричним (индукционим или електролучним).

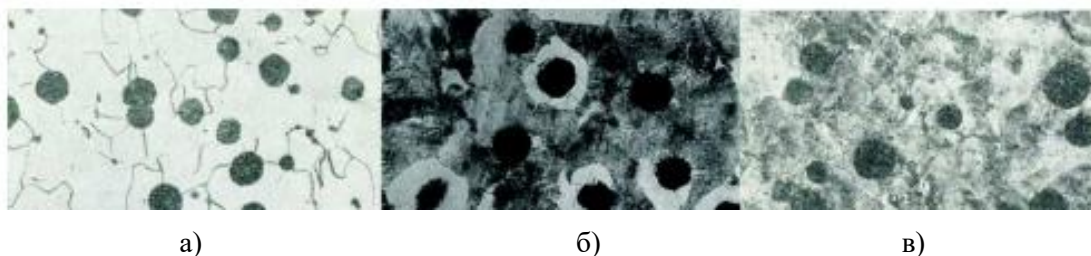
За израду одливака највише се употребљава сиви лив јер има одличну ливкост, а одливак се лако машински обрађује, отпоран је на абразију, а производна цена одливка је релативно ниска. Сем тога, графитне ламеле добро пригушују осцилације, па делују као амортизери при ударном или променљивом периодичном оптерећењу (сл. 4.3). Захваљујући графитним ламелама сиви лив има добре клизне особине, јер графитне ламеле упијају мазиво. Захваљујући пригушењу осцилаторних и ударних оптерећења, од сивог лива се израђују постоља машина алатки, плоче за темеље динамички оптерећених машина, ковачких чекића и преса.



Слика 4.3 Пригушивање осцилација у одливцима: а) сивог лива, б) угљеничних челика и в) легура алуминијума

4.3 Нодуларно (ковно) ливено гвожђе

Нодуларно или ковно ливено гвожђе одликује се тиме што је угљеник у металној маси распоређен у облику графитних лоптица (нодула) (сл. 4.4). Добија се третирањем течног сивог ливеног гвожђа са магнезијумом, што доводи до заокругљивања графита при кристализацији легура Fe-C. Метална матрица нодуларног лива може бити: феритна, феритно-перлитна и перлитна. При производњи NL неопходно је спровести: рафинацију, нодулацију (сфероидизацију) и инокулацију. Рафинисањем се на најмању меру своде примесе сумпора и кисеоника у растопљеном металу. Лив се пречишћава додавањем агенса као што је гашени креч (Ca(OH)_2). За сфероидизацију, у растоп се уводи магнезијум (Mg), не директно већ у облику MgFeSi легуре; температуре самопаљења и испаравања магнезијума знатно су ниже од температуре ливења нодуларног лива (1200°C). Да би се појавиле и даље расле клице (нодуле) графита, неопходно је да се у течном ливу задржи најмање 0,03% Mg. Најзад, потребно је у растоп убацили инокулант (феро-силицијум (Fe-Si)), чиме се стварају услови за хетерогену кристализацију растопа. После 5 минута од нодулације и инокулације, нодуларни лив треба излити у калуп да се спречи повратан процес - растварање већ створених графитних нодула.

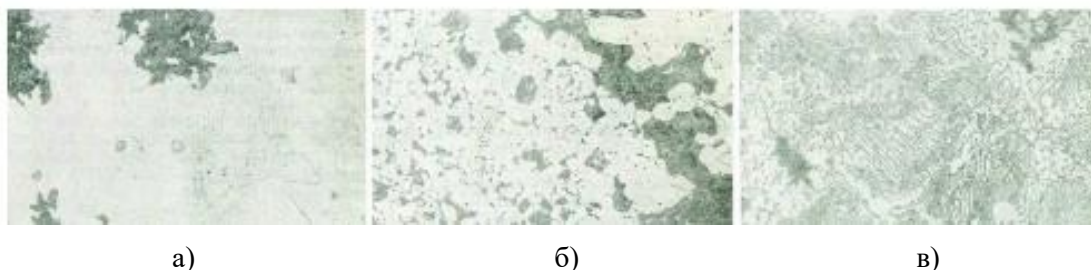


Слика 4.4 Структуре феритног (а), феритно-перлитног (б) и перлитног (в) нодуларног лива

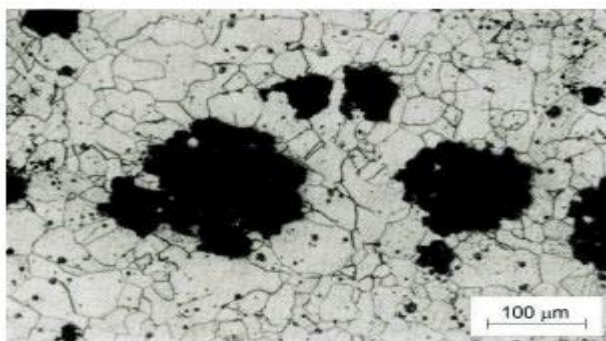
За припрему течног нодуларног лива може се употребити како куполна тако и индукциона пећ, али је погоднија индукциона, јер даје лив мање склон ка појави унутрашњих лункера у одливку. Ливкост нодуларног лива боља је него сивог лива због већег % C и Si, али је склоност NL ка појави унутрашњих напона већа него код SL. Нодуларни лив се примењује за изразито напрегнуте машинске делове као што су коленаста вратила, брегасте осовине, клипњаче, зупчасти венци итд.

4.4 Темперовано ливено гвожђе

Темпер лив (слике 4.5 и 4.6) добија се од већ израђених и очврсlih одливака у кокилама, те им је почетна структура бело ливено гвожђе (сав угљеник везан у облику цементита Fe_3C). Овакви одливци су веома крти и практично неприменљиви. Стога се они подвргавају накнадној термичкој обради званој темперовање. Жарење се може извести у неутралној атмосфери азота - добија се црни темпер лив (CTeL) или у оксидишућој средини - добија се бели темпер лив (BTeL).



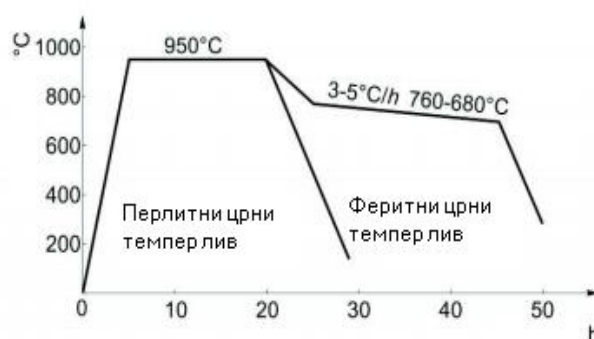
Слика 4.5 Структуре феритног (а), феритно-перлитног (б) и перлитног (в) темперованог лива



Слика 4.6 Микроструктура феритног црног темпер лива

Типичан ток темперовања за добијање црног темпер лива одвија се у три етапе (сл. 4.7). У првој фази дуготрајног жарења ($950^\circ\text{C}/30\text{-}50\text{ h}$) настаје графитизација еутектичког ледебуритног цементита (Fe_3C) и делом секундарног цементита. Ако се

процес овде заустави добија се перлитни црни лив. Кад се пак одливак потхлади са 950°C до око 760°C издвајаће се из аустенита графит (темпер угљеник) који се кристалише на постојећим центрима кристализације. У трећој фази жарења одливак се дуготрајно и споро хлади (брзином 3 до 5°C/h до око 680°C), те долази до промене аустенита у ферит уз издвајање графита на већ споменутим центрима кристализације. На овај се начин жарењем у неутралној атмосфери азота добија црни темпер лив (СТeL). Ако се пак изведе убрзано хлађење из области еутектоидне промене са 738°C добиће се феритно-перлитни или чисто перлитни темпер лив.



Слика 4.7 *Схема добијања перлитног и црног темпер лива*

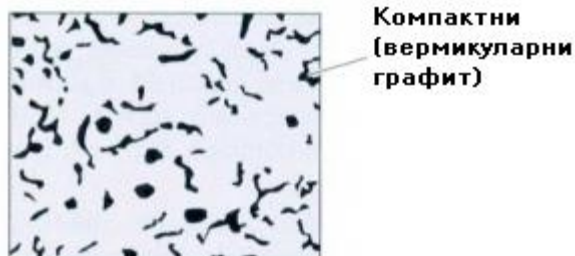
Одливци од СТeL примењују се у ауто индустрији, вагоноградњи и за делове пољопривредних машина.

Перлитни црни темпер лив може у многим случајевима да замени челичне одливке, нпр. за израду коленастих вратила, брегастих осовина, карданских зглобова и др.

Феритни црни темпер лив употребљава се за кућишта редуктора моторних возила, кућишта погонских осовина, главчина погонских точкова аутомобила. Феритни црни темпер лив има и добре антифрикционе особине, јер му је метална основа (легирани ферит) отпорна на хабање, а темпер угљеник делује као мазиво. Зато се одливци од феритног црног темпер лива често примењују за јако оптерећена клизна лежишта код аутомобила, железничких вагона и машина алатки.

4.5 Компактно (вермикуларно) ливено гвожђе (CGI)

Ово је релативно нова врста сивог ливеног гвожђа позната од средине 60-тих година прошлог века. У прво време, овај материјал сматрао се неуспешним нодуларним ливом (сл. 4.8). Графит формиран код вермикуларног лива је по облику негде у средини између ламела и нодула; има бројне ролнице графита које потичу од центара у којима је почело формирање еутектичке кристалне решетке. Овакав међусобно повезан графит може се појавити и у почетној фази формирања графитних нодула. Наиме, у једном тренутку, кад погонска енергија даљег раста нодула није довољно велика настаје посебан облик међусобно повезаног графита у виду шпагета (тзв. вермикуларни или компактни графит). Поступак добијања вермикуларног лива сличан је као и за нодуларни лив; довољно је само увести додатних 0,015% Mg, уз мали додатак титана који доприноси образовању међусобно повезаног графита (CGI). Према металној основи вермикуларни лив може бити феритни (90% ферита) и перлитни (80% ферита). Што се тиче карактеристика, вермикуларни лив обједињује добре особине сивог лива и нодуларног лива.



Слика 4.8 Вермикуларни лив

Одливци израђени од вермикуларног лива достижу јачину на кидање, заморну јачину и термичку проводност нодуларног лива, а пригушивање удара, амортизовање вибрација и машинску обрадљивост, као и ливачке особине не заостају за сивим ливом или га чак надмашују (попуњавање калупа је боље, а ливачко скупљање мање).

4.6 Легирано ливено гвожђе

Поред компонената ливеног гвожђа (Fe и C) и хемијских елемената увек садржаних у гвожђу (Si, Mn) и нечистоћа (P, S), уводе се и легирајући елементи да би се добиле специјалне корисне особине (нпр. повећање отпорности на хабање, на корозију у хемикалијама и у течним металним легурама, термостойаност на високим температурама) као и боље физичке особине (нпр. већи специфични електрични отпор, мања магнетна пропустљивост). За легирање ливеног гвожђа најважнији су следећи елементи: Al, Ni, Cr, Cu, Co, Mo, V, Ti, Sb, W, а такође и Mn и Si, са садржајем испод 4% Mn и 2% Si. Већина ових елемената додаје се растопљеном ливеном гвожђу или директно у шаржу у виду феро-легура док се Ni и Cu убацују у течно ливено гвожђе као технички чисти метали. Велики број одливака се израђује од легираног ливеног гвожђа.

4.7 Челични лив (ČL)

Челични ливови су легуре гвожђа и угљеника (до 2% C), које се лију у сувим пешчаним калупима. Подела челичних ливова према хемијском саставу, иста је као и код ковних челика (челика за пластичну прераду ваљањем, пресовањем, ковањем).

Одливци од челичног лива разликују се од челичних делова израђених поступцима пластичне прераде, по грубозрнастој структури која се не може накнадно поправити, јер по правилу, ливене структуре нису ковне.

Према хемијском саставу челични ливови могу бити:

- 1) Угљенични конструкциони челични ливови: (0,1-0,6% C и збирног садржаја Cr, Ni и Mo испод 0,8%); пошто су ово подеутектичке легуре, оне имају феритно-перлитну структуру.
- 2) Легирани челични ливови: садрже (0,1-2)%C и бар један легирајући елемент више од: 1% Mn, 0,6% Cr, 0,3% Ni, 0,1% V и 0,3% Cu.

Структура и особине челичних ливова зависе од садржаја угљеника и легирајућих елемената. С обзиром на то да се у челичним одливцима одмах после ливења добија крупнозрнаста структура, потребно их је накнадно жарити (880-950°C) и затим споро охладити у пећи. Ова термичка обрада доводи и до отпуштања напона. Осим тога, челични одливци се каткад подвргавају и хемијско-термичкој обради: цементацији, нитрирању, а затим каљењу и отпуштању. У поређењу са ливеним гвожђем, челични лив

има веће ливачко скупљање (1,6-2,1%), већу температуру ливења (1600-1700°C), а лије се само у сувим пешчаним калупима. Због мање течљивости уливни систем и појила морају имати веће попречне пресеке. Дуктилност (пластичност и жилавост) челичног лива нешто је нижа него код ковног челика истог састава, јер одливак има дендритну структуру (разгранатих кристала) и знатну сегрегацију сумпора, фосфора и делом Видманштетнову структуру (феритне иглице настале при трансформацији грубих аустенитних зрна-прегрејане аустенитне (γ) структуре. Оптималан однос напона течења ($R_{p0.2}$) према јачини на кидање (R_m) код челичних одливака добија се при 0,25-0,45% C, те се стога за ливење највише користи средњеугљенични челични лив. Мада се ливкост повећава са порастом садржаја угљеника, мана је одливака од ČL то што дебљина зида одливка знатно утиче на дуктилност. Са порастом дебљине опада истељивост и жилавост, тј. дуктилност. На квалитет челичног лива утиче и врста пећи у којој се растоп припрема, јер од тога зависи садржај P и S у одливку. Стога се уз ознаку челичног лива додаје и начин топљења који може бити: а) растоп из електричне пећи или Сименс-Мартенове пећи базичне облоге; б) растоп из електричне пећи или Сименс-Мартенове пећи киселе облоге; в) растоп из конвентора.

Средњеугљенични челични лив се највише употребљава за израду кућишта машина, за рамове парних машина, за ливење зупчастих венаца итд.

Нискоугљенични челични лив (0,10-0,25% C) се користи за израду мало оптерећених одливака, као што су: кућишта електромотора, ниско оптерећени делови вагона, делови брода (сидра, крме, кормила). Ситнији одливци се често цементирају, а затим кале и отпуштају да би им се повећала отпорност на хабање.

Вискоугљенични челични лив налази примену за делове изложене хабању и ударном оптерећењу као штп су нпр. ваљци, радни делови дробилица за камен итд.

Од наведених челичних ливова нискоугљенични ливови се могу заваривати без посебних мера, док су остали ливови условно заварљиви; то значи да је неопходно предгравање, а понекад и текућа као и завршна термичка обрада (догревање, жарење).

5.0 ЛИВАЧКЕ ЛЕГУРЕ ОБОЈЕНИХ МЕТАЛА И ЊИХОВИХ ЛЕГУРА

Обојене метале и легуре обојених метала према специфичној тежини сврставамо у две групе:

- 1) Група обојених тешких метала и њихових легура, коју даље делимо на две подгрупе: а) подгрупа тешко топљивих метала: бакар, никл и њихове легуре; б) подгрупа лако топљивих метала: цинк, калај, олово.
- 2) Група лаких метала и њихових легура: алуминијум, магнезијум и њихове легуре.

Заједничко својство свих обојених метала је да се скупљи од гвожђа и његових легура те ће нас закони економичности терати да их употребљавамо само у специјалним случајевима кад гвожђе и његове легуре не одговарају из било ког разлога.

Захтеви којима легуре гвожђа слабо или никако не одговорити и који упућују на примену обојених метала и њихових легура, могу се свести на:

- Електричну проводљивост;
- Топлотну проводљивост;
- Ниску специфичну тежину;
- Немагнетичност;

- Анतिकорозивност;
- Изразиту пластичност;
- Естетски изглед;
- Боју и
- Остала посебна својства.

5.1 Ливачке легуре алуминијума

Индустријска производња алуминијума започела је тек 1885. године, јер је до тада продукција била прескупа и тешка. Технички чист алуминијум има рђаве ливачке особине, те се од њега праве само танкозидни одливци за електротехничке потребе (наставци каблова, контактни завршеци каблова и др.).

Алуминијумске легуре се одликују добрим ливачким технолошким, механичким и физичким особинама.

Добре ливачке особине обезбеђују могућности производње компликованих одливака са малим дебљинама зидова. Осим тога, ове легуре имају сразмерно мало линеарно скупљање и врло су добро обрадиве.

Ове легуре одликују се, осим тога, и добрим механичким особинама, високом корозивном постојаношћу и имају високу топлотну и електричну проводљивост.

Ливачке легуре алуминијума садрже Si, Cu, Mg, а неке такође и Mn, а ређе Ni и Ti. Легирајући елементи, нарочито Si, снижавају температуру топљења легуре и побољшавају течљивост и ливкост. Течљивост је способност метала да тече кроз уливну систем калупа без превременог очвршћивања, а ливкост означава лакоћу са којом се пуни калуп. Легуре алуминијума обично се лију у влажним пешчаним калупима, кокилама и под притиском.

Од алуминијумских легура највећу примену имају легуре под називом силумини, које садрже 9-13% Si, што је блиско еутектици (11,7% Si). При ливењу силуминских одливака који су при раду изложени већем оптерећењу изводи се модификација течног лива, помоћу 0,1% елементарног натријума или смесе 2% NaCl+NaF. Користан утицај модификације огледа се у снижавању еутектичке температуре за 13°C; тиме се омогућава веће потхлађивање тј. кристализација при нижој температури, што доприноси да се добије ситнозрнаста грађа металних зрна и да зрнца кристала Si постају заобљена, што доводи до пораста својстава отпорности и деформације (јачине на кидање и дуктилности).

Поред силумина у примени су ливачке легуре алуминијума Al-Cu, Al-Zn, Al-Cu-Zn. Легура Al-Cu одликује се добром ливкошћу, али одливци имају малу јачину на кидање која се може поправити термичком обрадом, али на рачун пада пластичности.

Легуре Al-Mg имају истовремено добра својства отпорности и пластичности. Могу да се лију под притиском али одливци имају малу пластичност, а велику тврдоћу.

Легуре Al-Zn уз додатак Cu имају добре механичке особине и корозивну отпорност у морској води, као и добру ливкост. Табеларни преглед одабраних ливачких легура дат је у табелици 5.1.

Таблица 5.1 Одабране ливачке легуре алуминијума

Ознака хемијског састава	Примена
AlSi13Mn	Танкозидни одливци, непропустљиви за течност
AlSi19Mn	Прибор који долази у додир са животним намирницама
AlMg5SiMn	Ребрасте цилиндарске главе, компоненте у архитектури
AlMg9MnBe	Одливци отпорни у атмосфери и морској води
AlSi19MgMn	Танкозидни одливци у авио и ауто индустрији
AlSi12Ni2Cu	За рад на високим температурама
AlSi8Cu4Mn	Високооптерећени сложени одливци (блок мотора)
AlCu4Ni2Mg	Клипови већих димензија
AlCu8FeSi	Кућишта и кошуљице клизних лежишта

За топљење алуминијума и његових легура употребљавају се: тигл пећи (од ливеног гвожђа или графита) ложене мазутом или горивим гасом (земним гасом) као и индукционе пећи (велика продуктивност и лака регулација). Долазе у обзир и електрооторске пећи.

За прозиводњу алуминијумских ливова користе се гредица Al- легура израђене у топионици, било од отпадног материјала или набављених директно из алуминијумских комбината. У шаржи отпадни алуминијум не сме да надмаши удео од 50%, а пре убацивања у пећ мора да се осуши и очисти од песка, уља и масти.

Иако се алуминијумске легуре одликују добром ливкошћу, ипак је при ливењу потребно строго се придржавати устаљених технолошких процедура, као и неких општих правила.

Легуре алуминијума су склоне ка упијању гасова при топљењу и издвајању гасова при очвршћавању, склоне су ка оксидацији и прегревању, а састојци легура лако реагују са калупном масом. Зато у шаржу улазе топитељи, рафинатори, дезоксидатори и модификатори.

Топитељ ствара заштитну превлаку на површини растопа који штити течни лив од оксидације и упијања гасова из спољашње атмосфере. Као топитељ употребљава се калијумхлорид (KCl), а као рафинатор (Na_3AlF_6).

5.2 Ливачке легуре магнезијума

Магнезијум се претежно добија електрометалуршким методама (електролизом соли MgCl_2), а ређе пиromеталуршким поступцима (термичком редукацијом доломита $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$).

Магнезијумске легуре за ливење примењују се у различитим подручјима индустрије и привреде.

Пораст производње магнезијума и магнезијумских легура, као широка примена у машиноградњи за израду најразличитијих одливака, да се објаснити низом позитивних особина:

- Малом специфичном тежином;
- Високим механичким особинама;
- Високим хемијском постојаношћу према алкалијама, керозину, бензину и минералним уљима;

- Добром обрадљивошћу радним поступцима итд.
Нека основна својства чистог магнезијума су:
- Густина $1,74 \text{ g/cm}^3$;
- Температура топљења 651°C ;
- Температура испаравања 1097°C ;
- Затезна чврстоћа $70\text{--}220 \text{ MPa}$;
- Тврдоћа $30\text{--}40 \text{ HB}$.

Примена чистог магнезијума је релативно мала. У облику комадића употребљава се у ливарству као дезоксидатор и модификатор.

Примена магнезијумских легура омогућава смањење укупне тежине појединих машина и повећава коефицијент искоришћења.

Магнезијумске легуре као високо квалитетне конструкционе легуре примењују се за израду делова различитих преносних арматура, инструмената и томе слично. Њихова мала специфична тежина погодује изради делова који раде у условима ротационог и осцилаторног кретања (смањују се инерционе силе). Осим тога погодне су и за израду делова који су у раду подвргнути ударним и вибрационим оптерећењима јер имају ниски модул еластичности.

Магнезијумске легуре се према хемијском саставу деле на:

- Двојне (бинарне),
- Тројне (тернарне) и
- Вишекомпонентне легуре.

Најпознатија легура магнезијума за ливење је електрон (MgAl18ZnMn); намењен је за јако оптерећене делове авиона, мотора и приборе за моторе.

Данас се често употребљавају магнезијумске легуре за ливење: система Mg-Al , као и легуре система Mg-Al-Zn , легуре система Mg-Si , Mg-Mn и др.

Из напреднаведеног се види да су основни легирајући елементи магнезијумских легура: алуминијум, цинк, манган и силицијум.

Осим тога, често се сусрећу и магнезијумске легуре у којима се као легирајући елементи појављују ретки метали: берилијум, церијум, цирконијум итд. Поред ових елемената у магнезијумским легурама, могу бити присутне, примесе као што су: гвожђе, никл, бакар и водоник, који погоршавају особине магнезијумских легура. Магнезијум и његове легуре топе се у тигл лонцима, споља обложеним челичним лимом. Пламене пећи и електроотпорске пећи не смеју се користити, јер пламен и грејачи долазе у додир са металним улошком па може настати бурно сагоревање магнезијума и експлозија пећи.

Одливци од Mg - легура могу се израђивати у пешчаним калупима или металним било гравитационо или под притиском (таб. 5.2).

Таблица 5.2 Хемијски састав и механичке особине неких легура Mg за ливење (ознака по ASTM-и)

Ознака легуре	Хемијски састав, %	Стање легуре	Напон течења, МПа	Затезна јачина, МПа	Издужење, %	Примена
AM60A	6.0 Al, 0.13Mn	Одливак	130	220	6	Аутомобилске фелне
EZ33A	2.7Zn, 0.6 Zr	Вештачки старено	110	160	3	Ливени делови који су изложени до T= 260°C
AZ91A	9 Al, 0.13Mn, 0.7 Zn	Одливак	150	230	3	Делови за аутомобиле

5.3 Ливачке легуре бакра

Ливачке легуре бакра познате су као месинзи и бронзе. Сви месинзи за ливење су вишекомпонентне легуре, јер поред основних састојака (компонената Cu и Zn) садрже још и Pb (до 4%), Mn (до 4%), Al (до 3%), Fe (до 1,5%) и Si (до 4%).

Олово и силицијум поправљају ливкост, док Al, Mn и Fe повећавају својства отпорности. Осим споменутог, олово поправља и машинску обрадивост одливка, јер се при обради резањем образује крта струготина. С друге стране, Al и Si доприносе порасту корозивне отпорности месинга, нарочито у морској води.

Као метални уложак за ливачку пећ употребљавају се гредице месинга (добијене у топионици (39-45% Zn)) које имају двофазну структуру: чврст раствор Zn у Cu и интерметалну фазу Cu₅Zn₈. Поред гредица месинга, за шаржирање пећи употребљавају се још повратни месинг и отпадни месинг.

Месинг се може припремати у свим ливачким пећима, али пре свега у тигл пећима ложеним земним гасом или мазутом или пак у индукционим пећима. Топљење се мора изводити релативно брзо због губитка цинка на испаравање при 907°C; ако се топљење одужи бели дим изнад растопа указује на почетак интензивног испаравања. Невелики додатак Al (0,03%) образује на површини растопа скраму Al₂O₃ која штити течан месинг од даље оксидације и претераног губитка цинка. При изради цевних водоводних арматура ливење се изводи у кокилама, јер се постиже бољи квалитет и неупоредиво већа продуктивност него ливењем у пешчаним калупима.

Бронзе су легуре бакра у коме друга компонента може бити: Sn, Al, Be, Pb, Si, Mn и још неки метали, али не и цинк и никл. Према другој компоненти (састојку, поред бакра) разликују се: калајна, алуминијумска, берилијумова, оловна, силицијумска те кобалтна, титанска и друге бронзе.

Бронзе за ливење су по правилу вишекомпонентне легуре, а садрже други састојак у износу: Sn (до 11%), Pb (до 33%), Al (до 11%) и Si (до 45%). Као легирајући елементи могу се додати: Zn (до 7%), Mn (до 2%), Fe (до 5,5%), Ni (до 5,5%), као и P (до 1,2%).

У ливачким бронзама, олово побољшава ливкост, цинк замењује нарочито скуп и дефицитиран калај, док Al, Fe, Mn и Ni утичу на пораст механичких особина, а P повећава тврдоћу и отпорност на хабање. Трагове фосфора у одливцима од бронзе не треба сматрати за легирајуће додатке, већ као заостале после дезоксидације течног метала у лонцу пре изливања у калуп.

Примена бронзи је веома широка; за делове машина, опрему водовода и паровода, за клизна лежишта, за бродоградњу, за авијацију итд.

Ливачке бронзе се одликују добром ливкошћу и машинском обрадљивошћу, као и отпорношћу на корозију и хабање, а алуминијумске бронзе отпорне су и на високим температурама.

Бронзе се углавном лију у пешчаним калупима, мада у последње време постоји тежња да се уместо сушених користе влажни калупи нагнути под $10-15^\circ$ у односу на хоризонталну раван. У кокилама се лију чауре и ваљци, с тим што се кокиле предгревају на 250°C .

5.4 Остале легуре за ливење

У знатно мањој мери одливци се праве и од следећих метала: цинка, олова, калаја, бизмута, никла и кобалта.

Легуре цинка углавном могу садржати: Al, Cu и Mg. То су легуре ZnAlMg и ZnAl₁₄Cu₁ познате под називом “замак” (шпиалтер). Лију се углавном под притиском. У ливачке легуре убраја се и вишекомпонентна легура ZnSb₁₁Cu₆.

Ливачке легуре цинка одликују се добром ливкошћу при релативно ниској температури ливења. Разликују се легуре које се лију у пешчаним калупима и кокилама, као и центрифугалним поступком.

Легуре олова (Pb-Sb - тврдо олово, Pb-Sn- лежишне легуре, нискотопљиве легуре са Ba, Sn и Cd).

Најчешћи састојци легура олова су: Sn и Sb и земноалкални метали: са стронцијумом (Sr) и баријум (Ba). Легуре олова поседују добру ливкост и машинску обрадивост. Меко олово се углавном употребљава као легирајући састојак код легура за клизна лежишта, штампарска слова за нискотопљиве легуре (посебан значај има легура са Bi, Sb, Cd) која се топи при $68-72^\circ\text{C}$ (Вудов метал- Bi₆₀Pb₂₇Sn₁₃Cd).

Легуре Pb са антимоном и арсеном се користе за плоче акумулатора, за арматуре у хемијској индустрији и за кабине у електротехници.

Легуре олова са арсеном користе се за ливенице за пуњење патрона ловачког наоружања. Истопљена легура насипа се у тигл-лонац са перфорираним (избушеним) дном, кроз које пролази растопљена легура и пада у посуду са водом. Ту се кристалишу металне куглице-ливенице.

Легуре бизмута и олова спадају у нискотопљиве легуре. Производе се релативно лако стапањем Pb, Bi и Cd у тигл-лонцима и очвршћавањем растопа у калупима. Употребљавају се за затапање ситних узорака за металографска испитивања и као лемови стакла за метал.

Легуре никла. Чист никл има веома рђаву ливкост те се од њега не могу производити одливци. Додацима Si, Mn и C поправљају се ливачке особине, а да се не погорша корозивна отпорност. Легуре никла топе се у индукционим пећима (средње и високе фреквенције), као и у електролучним пећима.

Разликују се следеће легуре никла:

- Ni-Cu и Ni-Cu-Sn;
- Ni-Cu-Sn и Ni-Cu-Sn-Pb;
- Ni-Cr-Fe;
- Ni-Si;
- Ni-Ti и Ni-Be;
- Ni-Al и Ni-Mo-Fe и Ni-Cr.

Од легура Ni-Cu најпознатији је монел (67% Ni, 30% Cu, 1,5% Fe и 1,5 % Mn). Корозивно је отпоран у морској води и разблажениј сумпорној киселини, а поседује термостојаност до 400°C, а задржава добре особине и при температури испод 0°C. Лије се при 1550°C. Служи за израду лопатица парних турбина, бродских завртњева, као и за делове у хемијској и прехранбеној индустрији. Примењује се и као додатни материјал при заваривању сивог лива на хладно.

Легуре Ni-Cu-Sn примењују се слично као и монел. Задржавају добре клизне и механичке особине на повишеним температурама.

Легуре Ni-Cr-Fe одликују се великим специфичним електричним отпором на повишеним температурама, као и ватропостојаношћу и термостојаношћу. Најпознатија је легура Инконел NiCr15Fe5 која се примењује за делове металуршких пећи, за реторте (посуде за суву дестилацију), рекуператоре (коморе за одвод врелих гасова из пећи) и кошеве за насипање сировина у пећи).

Легура Ni-Si (Hastelloy) - посебно је отпорна на сумпорну киселину (H₂SO₄) и на хабање. Одливци се могу заваривати окси-ацетиленски (гасно). Легуре Ni-Ti и Ni-Be служе за роторе пумпи, као и за носећа лежишта машина које раде у условима великог хабања и у корозивној средини.

Легуре Ni-Al се производе специјалним поступцима. Служе за делове пумпи, ваљчаста лежишта као и седишта вентила. Делови се лију углавном топљивим “изгубљеним” моделима (воштаним моделима).

Легуре Ni-Cr имају велики специфични електрични отпор уз добру ватроотпорност и термостојаност на повишеним температурама. Пре свега се употребљавају за грејне елементе у електроотпорским металуршким пећима.

Посебну групу чине легуре: Fe, Ni, Cr, Mo са кобалтом (Co). У питању су легуре зване стелити добијене поступцима металургије праха, топљењем и ливењем у пешчаним или металним калупима. Стелити су у ствари ливене тврде легуре (карбиди Cr, W- везиво Co и 10% Fe) које се лемљењем наносе на радне ивице резних алата за машинску обраду.

6.0 ПРЕГЛЕД ЛИВАЧКИХ ГРЕШАКА

Грешке које се по завршетку ливења могу открити на одливцима (очним прегледом, магнетним флуksom или радиографским методама), сврставају се у две групе:

- 1) Поправљиве (отклоњиве) грешке и
- 2) Непоправљиве (неотклоњиве) грешке.

Техношки услови за поједине класе одливака дефинишу, захтеве који они морају да испуне, да би се сматрали прихватљивим. Овим се условима прописују допуштена димензиона одступања, као и неотклоњиве грешке које одливке сврставају у поврати метални уложак за претапање тј. у шкарт.

6.1 Разврставање грешака

Према нама доступним стандардима и литературним подацима, грешке одливака се могу разврстати и симболички означавати на следећи начин:

- Према спољашњем изгледу грешке се сврставају у седам класа:
 - А. Металне израслине;
 - В. Шупљине;

C. Нецеловитост (прекид континуитета масе);

D. Површинске грешке;

E. Непотпун одливак;

F. Нетачне димензије или облик;

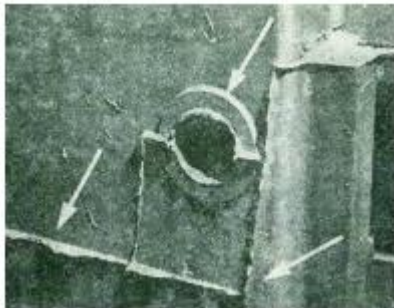
G. Укључци и неправилна структура.

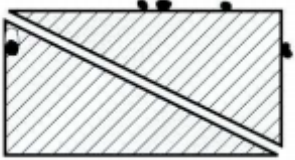
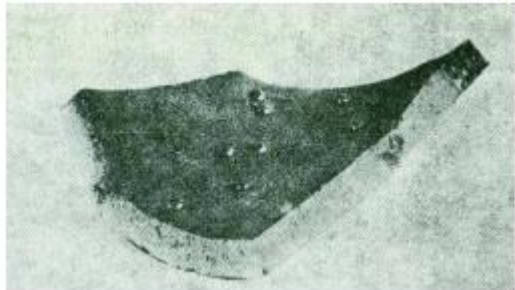
- Симболично се грешке означавају према подацима датим у наредним таблицама где се узима у обзир, како материјал одливка тако и поступак ливења.

Челични лив	1
Сиви лив	2
Нодуларни лив	3
Црни темпер лив	4
Легуре лаквих метала	5
Легуре тешких обојених метала	6

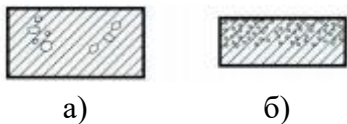
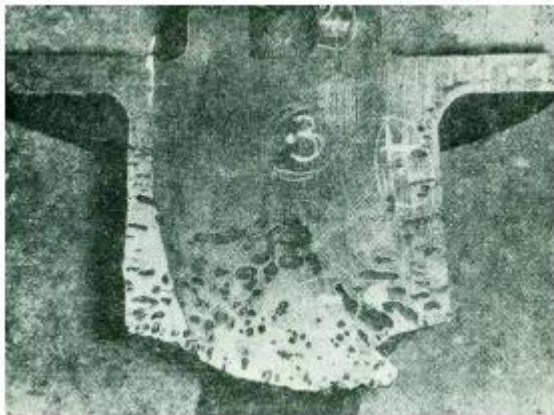
Ливење у сировим пешчаним калупима	a
Ливење у сувим или очврслим калупима	b
Ливење у језгреним калупима	c
Ливење у шкољкама	d
Ливење у шкољкама са керамичком љуском	e
Прецизно ливење	f, g
Ливење у кокилама	h
Ливење под притиском	i
Центрифугално ливење	k
Континуално ливење	l

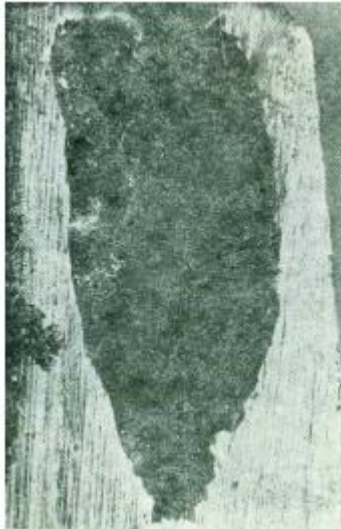
А. Металне израслине (преливеног истиснутог метала)

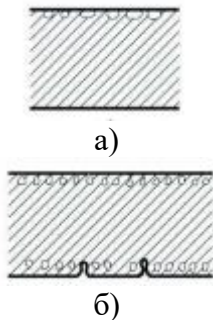
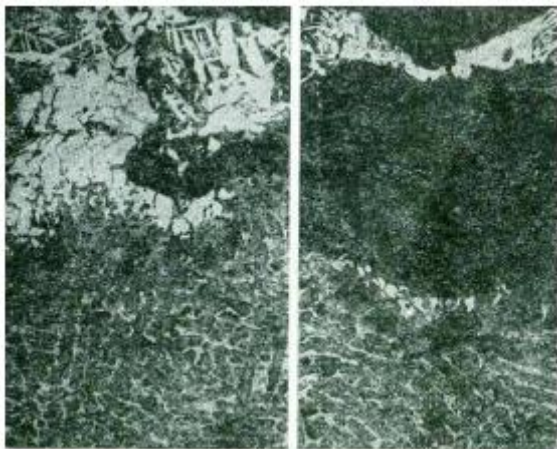
Симбол и назив грешке:	A111- Прелив
Појава грешке:	Појављују се код материјала 1...6 и поступака ливења а, b, c, d, e, f, g, h, i.
Опис грешке:	Танка метална израслина у подеоној равни калупа (а) или на језгреним маркама (заливена марка) (б).
 а) б)	
Схематски и стварни приказ прелива: (а) на подеоној равни калупа и (б) на ослонци језгра	
Узроци појаве грешке:	Велики зазор између горњег и доњег калупа или ослонаца језгра и калупа
Спречавање грешке:	Израда модела тачних мера као и ослонаца језгра, правилна обрада подеоних површина и искривљених моделних плоча.

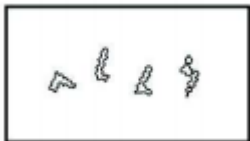
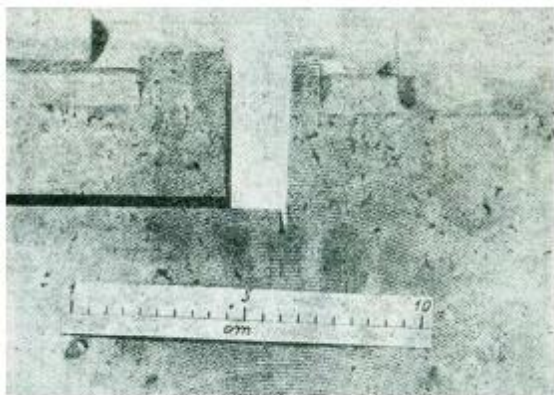
Симбол и назив грешке:	A3111- Куглице
Појава грешке:	Појављују се код наливања материјала 1...6 и поступака ливења a, b, c, d, f, g, h.
Опис грешке:	Металне куглице, глатке и малих димензија ($\varnothing 10\text{ mm}$), распоређене појединачно. Појављују се и у унутрашњости као гасни мехурови у облику капи “зноја” или тзв. фосфидних перли. Углавном настају на унутрашњим ивицама и на оштрим угловима и удубљењима.
	
Схематски и стварни приказ кугли и перли	
Узроци и појаве грешке:	Код SL настају фосфидне перле због високог садржаја фосфора, јер се фосфорни еутектикум нагомилава на границама металних зрна на температури нижој од еутектичке, те бива потиснут кроз поре ка површини. Грешка може настати и при термичкој обради на $T > 900^{\circ}\text{C}$.
Спречавање грешке:	Смањити садржај нечистоћа (пре свега фосфора), смањити количину растворених гасова, контролисати температуру лива и омогућити обезваздушвање калупа.

В. Шупљине

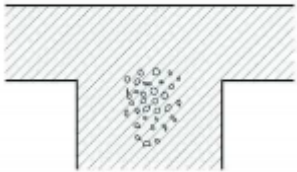
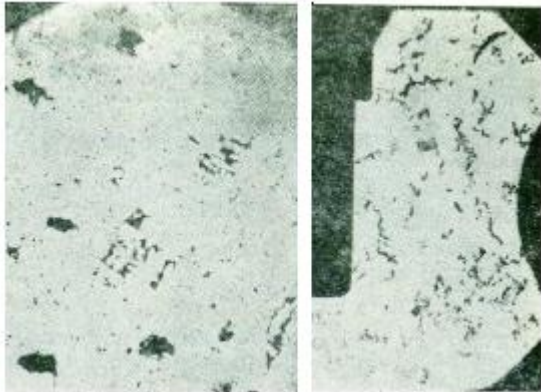
Симбол и назив грешке:	B111- Гасни мехурови и поре
Појава грешке:	Појављују се код наливања материјала 1...6 и поступака ливења a, b, c, d, e, f, g, h.
Опис грешке:	Металне округласте шупљине глатких површина; обично настају унутар одливка. Унутар површина мехурова може да буде сјајна, оксидисана или код сивог лива превучена графитним филмом.
 а) б)	
Схематски и стварни приказ гасних међурова и пора (а) гасни мехурови и (б) гасне поре	
Узроци појаве грешке:	Настанак мехурова је проузрокован издвајањем гасова у току очвршћивања одливка.
Спречавање грешке:	Обезбедити добру пропустљивост калупа за гасове, добро осушити калупе и језгра, извести дезоксидацију, правилно пројектовати уливни систем, смањити садржај кисеоника и водоника, избегавати превисоке температуре лива.

Симбол и назив грешке:	ІВІ13- Мехурови око укључка троске
Појава грешке:	Јављају се у материјалима 1...4 независно од поступка ливења. Најчешће се појављују у горњим деловима одливка.
Опис грешке:	Празнине око неметалних укључака.
	
Схематски и стварни приказ мехурова око укључка троске	
Узроци појаве грешке:	Код сивог лива узроци су неповољан однос Mn/Si или висок садржај елемената великог афинитета према кисеонику (Al и Ti).
Спречавање грешке:	Контрола металног улошка (Al и Ti), повећање садржаја Si , смањење садржаја Mn (разлика $Si-Mn = 0,50\%$).

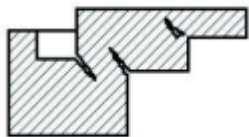
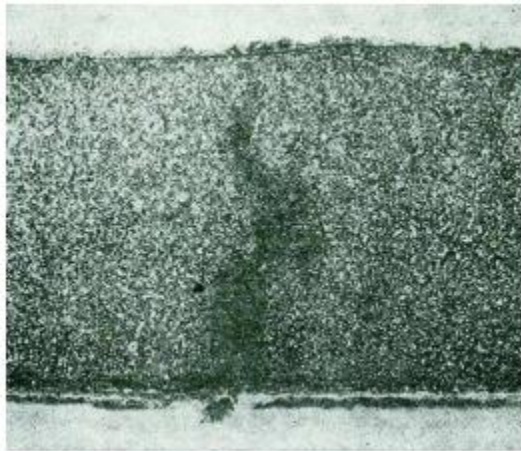
Симбол и назив грешке:	B123- Површински мехурови и поре (“убоди игле”)
Појава грешке:	Појављују се код сивог лива и темпер лива на одливцима са танким зидовима, а код челичног лива на одливцима дебљине зида 15-30 mm.
Опис грешке:	Убоди игле су мале рупица на глатким површинама одливка. Јављају се код слабо дезоксидисаног челичног лива, тј. при малом додатку алуминујума за везивање кисеоника.
 а) б)	
Схематски и стварни изглед површинских мехурова (а) и површинских пора (б)	
Узроци појаве грешке:	Код сивог лива узроци су повећан садржај кисеоника и водоника због превише унетих оксида преко металног улошка.
Спречавање грешке:	Снижавањем садржаја водоника, додавањем ливу дезоксидатора (Mn, Al и Si) и правилним пројектовањем уливног система.

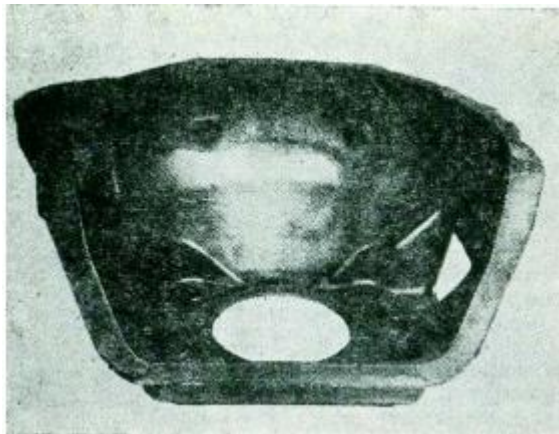
Симбол и назив грешке:	B124- Напрслине због гасова
Појава грешке:	Појављују се код сивог лива независно од начина ливења.
Опис грешке:	То су танке шупљине облика пукотине, вертикално на површину одливка. Могућа дубина до 2 cm. Зидови шупљине су дендритне структуре са појавом укључака у види графитних ламела.
 а)  б)	
Схематски и стварни приказ напрслина због гасова: (а) пресек, (б) изглед обрађене површине	
Узроци појаве грешке:	Грешка настаје због издвајања гасова при очвршћивању.
Спречавање грешке:	Треба смањити садржај кисеоника у ливу (додавањем Ti и Al).

Симбол и назив грешке:	B211- Спољни лункер (улегнуће)
Појава грешке:	Настаје при ливењу материјала 1...6 код поступака ливења а...h.
Опис грешке:	Отворена левкаста шупљина; унутрашња површина лункера обично је храпава, прекривена дендритним (гранастим) кристалима.
	
Схематски и стварни приказ спољњег лункера	
Узроци појаве грешке:	Најчешће настаје у удаљеним деловима калупа који последњи очвршћавају. Узроци су запреминско скупљање и недовољно напајање дебљих делова одливка. Наиме, из ових делова отиче растоп у делове који се задњи кристалишу, те се у дебелим зидовима јављају улегнућа (лункери). Као што је раније споменуто, код SL и NL због образовања графитне еутектике при кристализацији скупљање је незнатно или пак прелази у ширење.
Спречавање грешке:	Грешка се може спречити правилним димензионисањем хранитеља (појила) или повећањем броја хранитеља.

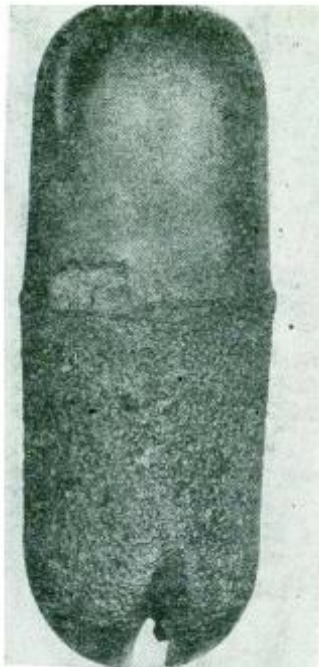
Симбол и назив грешке:	В311- Порозност (шупљикавост, гасна порозност)
Појава грешке:	Настаје код материјала 1...6, углавном код метода ливења а...d, али може и код h, i.
Опис грешке:	Уочена је код одливака велике масе на местима која последња очвршћују, на прелазу с мање на већу дебљину зида одливка, у близини ушћа лива и тсл. Најчешћа је код легура које имају лошу ливкост.
	
Схематски и стварни приказ порозности	
Узроци појаве грешке:	Порозност се појављују ако гасови под притиском напуштају одливак непосредно пре кристализације. Настаје због непотпуне дезоксидације и дегазације, недовољно осушеног калупа или неправилно постављених канала за одвођење гасова.
Спречавање грешке:	Правилно пројектовати одливак, одржавати задату температуру лива, снизити садржај нечистоћа, додати елементе који спречавају оксидацију, обезбедити добру пропустљивост калупа, смањити садржај влаге у језгру и калупу и тсл.

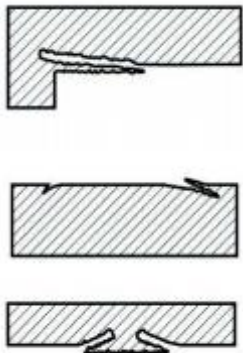
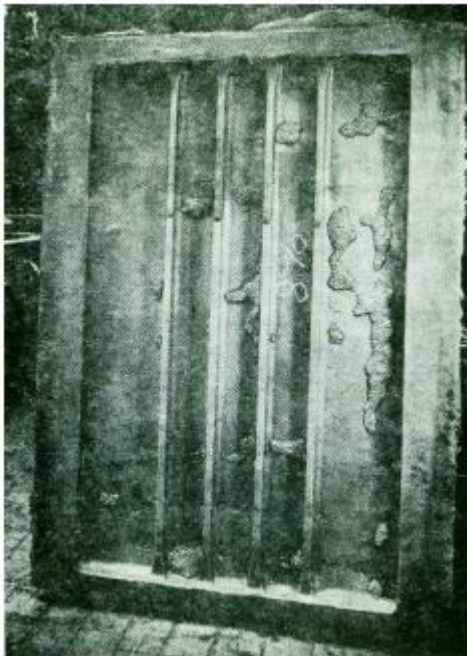
С. Нецеловитост

Симбол и назив грешке:	C134- Топле прелине
Појава грешке:	Могу настати код материјала 1...6 и при свим поступцима ливења.
Опис грешке:	Реч је о међукристалним (интеркристалним) прслинама неправилног облика. Јављају се обично у деловима одливка који последњи очвршћавају и на местима нагле промена дебљине зидова.
	
Схематски и стварни приказ топлих прелина	
Узроци појаве грешке:	Узроци су углавном: • Неслободно скупљање одливка при очвршћивању, тј. у близини солидус температуре; • Металуршки узроци се односе на висок садржај сумпора у ливачкој легури.
Спречавање грешке:	Избегавати нагле промене пресека и омогућити слободно скупљање, смањити %S у ливу.

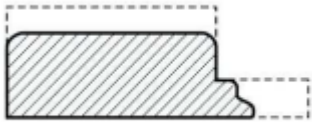
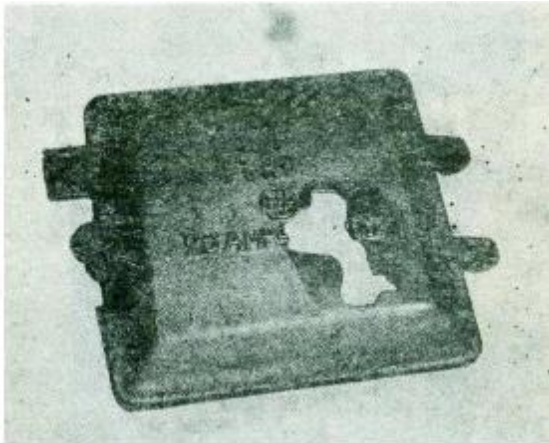
Симбол и назив грешке:	С311- Хладни спојеви
Појава грешке:	Појављују се код материјала 1...6, а манифестују се видљивим прекидом масе и заобљеним ивицама на том прекиду.
Опис грешке:	Хладни спојеви могу настати по целој дебљини зида одливка или само до одређене дубине у виду мање бразде са заобљеним ивицама. Обично се јавља на одливцима великих површина и малих дебљина, углавном на местима где се сусрећу два млаза охлађеног лива.
	
Схематски и стварни приказ хладних спојева	
Узроци појаве грешке:	Недовољна ливкост легуре.
Спречавање грешке:	Грешка се може спречити: • Повећањем температуре ливења, односно ливкости; • Побољшањем уливног система.

D. Површинске грешке одливка

Симбол и назив грешке:	D134 – Храпава површина
Појава грешке:	Грешка углавном настаје при употреби старог синтетичког песка без мешања са новим. Стари песак је киселог карактера (има рН- вредност око 5).
Опис грешке:	Наборана површина одливка.
	
Схематски и стварни приказ храпаве површине	
Узроци појаве грешке:	Неповољна калупна смеша.
Спречавање грешке:	За спречавање грешке треба старом песку додати бетонит са содом да се постигне рН вредност до 8.

Симбол и назив грешке:	D134- Крастава површина
Појава грешке:	Настаје код материјала 1...4 и 6, при поступку ливења а.
Опис грешке:	Краста је неправилна метална израслина дебљине неколико милиметара, повезана једним делом за одливак.
	
Схематски и стварни приказ краста на горњој површини постоља машине од сивог лива	
Узроци појаве грешке:	Ометено односно неометено стварање коре на ужареној површини калупа због ширења песка.
Спречавање грешке:	За спречавање грешке треба користити висококвалитетну калупну мешавину уз повећан садржај везива, као и предузети мере за смањивање напона услед ширења и скупљања.

Е.- Непотпун одливак

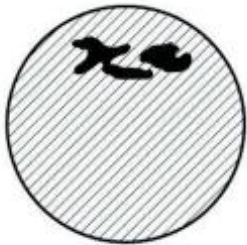
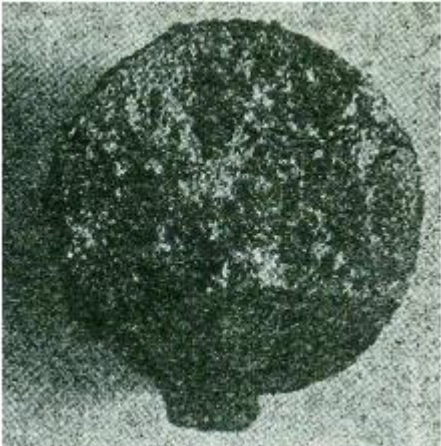
Симбол и назив грешке:	E121- Недоливеност
Појава грешке:	Настаје код материјала 1...6, при методима ливења а...h. Најчешће се јавља код одливака са малом дебљином зида а великом површином на горњим деловима одливка и местима најудаљенијим од уливне чаше.
Опис грешке:	Одливку недостаје један део.
	
Схематски и стварни приказ недоливености	
Узроци појаве грешке:	Узроци могу бити: недовољно висока температура ливења, тј. мала ливкост; недовољно велика површина попречног пресека уливног система; код кокилног лива недовољно загрејана кокила и рђаво обезваздушавање.
Спречавање грешке:	Извести правилну припрему лива, остварити неопходну температуру лива и правилно пројектовати уливни систем.

Е.- Нетачне димезније или облик

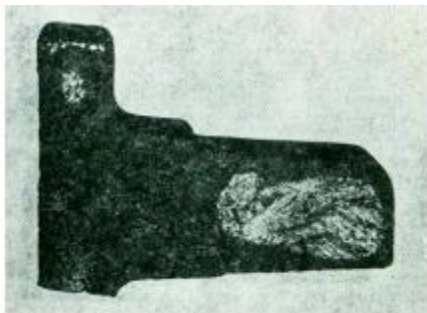
Симбол и назив грешке:	F111- Нетачне мере или облик
Појава грешке:	Настаје код материјала 1...6, при поступцима ливења а, б, с. Неке димензије одливка нису сагласне цртежу и моделу.
Опис грешке:	Промена облика може настати због знатног померања горњег калупа у односу на доњи, као и језгра у односу на калуп. Узроци су следећи: похабани бочни колотови модела, превелик зазор између рупа и завртњца који спајају горњи и доњи калупник и превелик зазор између гнезда у калупу и ослонаца језгра.
	
Схематски приказ нетачних мера одливка	
Узроци појаве грешке:	Узрок може бити недовољно повећање димензија модела, прилагођено ливачкој легури.
Спречавање грешке:	Правилно пројектовати модел, језгро и калуп.

G.- Укључци и неправилна структура

Симбол и назив грешке:	G121- Укључци троске
Појава грешке:	Ова грешка се појављује код свих ливачких легура.
Опис грешке:	Укључци троске представљају спољну или унутрашњу порозност метала на местима где су заробљени неметални укључци. То се дешава при брзој кристализацији, када згура исплива на врх ливачког лонца или се наталожи у уливном систему.
	
Схематски и стварни приказ укључка троске	
Узроци појаве грешке:	Грешку представљају неметални укључци који потичу из пећи за припрему лива (нпр. троска од кречног камена или соли за рафинацију).
Спречавање грешке:	Грешка се може избећи ако се спречи улазак троске у ливачки лонац при испуштању растопа из пећи; то се постиже скидањем троске са површине растопа у лонцу додавањем сувог кварцног песка или креча што згушњава троску и одваја је од течног метала.

Симбол и назив грешке:	G141- Црне пега
Појава грешке:	Настаје код материјала 3. Узроци су висок садржај металних оксида и сулфида у растопу. Сулфиди Mg и Mn као и S Al се издвајају и остају у одливку за време очвршћавања.
Опис грешке:	
	
Схематски и стварни приказ црних пега	
Узроци појаве грешке:	Сулфиди Mg и Mn као и оксиди Mg, Fe и Al се издвајају, коагулишу и остају у одливку у току кристализације.
Спречавање грешке:	Смањити $S < 0,01\%$ пре убацивања Mg, ограничити садржај алуминијума.

Симбол и назив грешке:	G211- Одбељивање (локална структура белог ливеног гвожђа)
Појава грешке:	Ова грешка може настати код материјала 2 и 3, при уобичајеним поступцима ливења. Структуре белог ливеног гвожђа настају нарочито у танким деловима одливка и на ивицама, тј. на зидовима одливка који се најбрже хладе.
Опис грешке:	Одбељивање је отврдњавање једног дела одливка. Уочено је при ливењу сивог и нодуларног лива кад се локално формира цементит. Код челичних одливака настаје мартензитна структура. Узроци су велика брзина хлађења на клинастом делу одливка или прегрејан лив.
	
Схематски и стварни приказ одбељивања	
Узроци појаве грешке:	Узроци одбељивања могу бити: • Однос C/Si не одговара дебљини зида; • Пребрзо хлађење (локално брзо хлађење због ефекта клина).
Спречавање грешке:	Металуршки подесити одговарајући састав лива.

Симбол и назив грешке:	G213- Обрнуто одбељивање
Појава грешке:	Ова грешка настаје код материјала 2 и 3, при уобичајеним поступцима ливења; јавља се само у средини одливка дебелих зидова.
Опис грешке:	Обрнуто закаљивање настаја код одливка кружног попречног пресека од SL и препознаје се по појави слободних карбида у средишту одливка. То је последица сегрегације карбидотворних елемената (Ti, V, Cr, Mn, Mo, W) у средишни део одливка који апсорбује ове елементе у преостали растоп који последњи очвршћава.
	
Схематски и стварни приказ обрнутог одбела	
Узроци појаве грешке:	Узроци обрнутог одбељивања могу бити: • Превисок садржај сумпора неvezаног за манган, висок садржај водоника; • Мали број хетерогених центара кристализације у одливку; • Геометријски облик одливка који доводи до бржег хлађења средишњег дела зида одливка.
Спречавање грешке:	Грешка се може спречити десумпорисањем растопа пре изливања у калуп; додаје се манган у износу: $\% \text{Mn} = 1,6\% \text{S} + 0,3\%$.

Симбол и назив грешке:	G221- Примарни графит
Појава грешке:	Ова грешка настаје код белог и црног темпер лива при уобичајеним поступцима ливења.
Опис грешке:	На прелому сивог ливеног гвожђа виде се сиве пеге издвојеног примарног графита (крупнозрнастог).
	
Схематски и стварни приказ примарног графита	
Узроци појаве грешке:	Узроци грешке су: • Превисок садржај угљеника и силицијума за дату дебљину зида; • Висок садржај елемената који помажу графитизацији.
Опис грешке:	Грешка се може спречити: • Избегавањем велике разлике у дебљини зидова и нагомилавања материјала; • Правилним пројектовањем уливног система и појила; • Убрзањем хлађења неких делова одливака уградњом челичних лимова у поједине зоне пешчаног калупа; • Контролисањем хемијског састава металног улошка

6.2 Поправка одливака са грешкама

Не мора се сваки одливак са видљивом грешком одбацити (шкартирати) као отпад. Неке грешке се могу толерисати ако не утичу битније на радне особине одливка, а постоје и грешке које се могу отклонити.

На основу последица које грешке могу да изазову разликују се:

- 1) Неотклоњиве или грешке чија је поправка техно-економски неоправдана;
- 2) Отклоњиве грешке, које се могу елиминисати/отклонити применом додатних мера и ако оне нису биле предвиђене технолошком документацијом;
- 3) Поправљиве грешке су оне које се у складу са техничким условима могу отклонити; исправљањем, заваривањем, импрегнацијом и на неки други начин.

Дорада одливака од ливеног гвожђа може бити изведена применом следећих метода: наношењем двокомпонентних металних китова, заваривањем, наваривањем металним прахом и уградњом коничних завртњева.

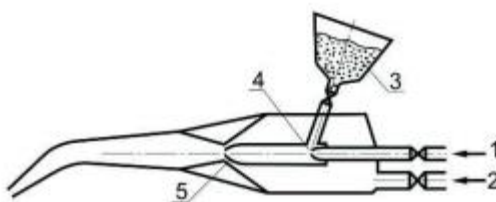
- 1) Наливање течних метала; заснива се на попуњавању локалне недоливености течним гвожђем. На месту дораде могу се појавити зракасте прслине индуковане знатним термичким и структурним напонима, кад се основни и течан метал знатно разликују по термо-физичким особинама.
- 2) Гасним заваривањем помоћу окси-ацетиленског пламена и шипке ливеног гвожђа као додатним материјалом. Пре наваривања, одливке (нарочито веће масе), треба предгрејати до око 600°C да се спрече унутрашњи термички напони. После поправке, одливци се морају споро хладити било у пећи или затрпавањем у суви песак. Метал шава би требало да буде машински обрађен.

Ручно-електролучно заваривање одливка се може извести како на топло тако и на хладно. Додатни материјали, тј. електроде могу бити:

- Ливене шипке као код гасног (аутогеног) заваривања али се тада после заваривања, одливак не може машински обрађивати;
- Електроде од монел метала (70% Ni и око 30% Cu) којима се заварује само на хладно; метала навара је различит од одливка и може се лако машински обрађивати;
- Челичне електроде од меког челика (нискоугљенични челик) служе за наваривање на хладно; па долази до наугљенисавања метала шава из околног ливеног гвожђа, те шав постаје тешко машински обрадив.

Поправка одливака од ливеног гвожђа може се обавити и заваривачким лемљењем. Оштећено место се изглеби, затим се празнина попуњава топљењем месингане шипке у окси-ацетиленском пламену. Шав се може машински обрађивати, али је склон електрохемијској корозији, због различитих стандардних електродних потенцијала гвожђа Fe (-0,440 V) и Cu (+0,337 V). Сваки метал који има негативан електродни потенцијал, кородираће кад се изложи дејству електролита (водених раствора киселина, база и соли).

За отклањање грешака може се применити и тзв. метализација. Употребљавају се специјални гасни горионици са уграђеним левком за прашкасте метале (сл.6.1). Прашак од меког челика, захваљујући потпритиску у комори горионика, бива усисан у зону пламена највише температуре и у истопљеном стању распршује се у зони грешке.



1- довод O_2 , 2- довод C_2H_2 , 3-левак, 4- комора, 5- дифузор
а)



б)

Слика 6.1 *Схема горионика за гасно навривање (а) и гасно наваривање унутрашње површине цилиндра прашком (б)*

7.0 ЗАКЉУЧАК

Данас и у прошлости, ливење представља незаменљиву производну технологију за развој многих индустријских грана. Сматра се да је удео ове технологије у машинској техници око 30%. Ливењем израђујемо одливке веома компликованих геометријских облика, које је готово немогуће изградити другим производним технологијама.

Треба споменути да се одговорни делови велике масе и сложеног геометријског облика израђују највише од легура гвожђе-угљеник (ливена гвожђа и челични ливови) у готово свим индустријским гранама. Њихова примена је широка и разноврсна. Основна предност јесте цена, а мана неупоредиво лошије механичке особине од отковака. Додуше, својства одливака се могу приближити својствима отковака, али уз примену скупе накнадне термичке обраде.

У последње време све више се примењују одливци од обојених метала и њихових легура. Они само делом замењују легуре гвожђа и угљеника и то у оним случајевима када легуре на бази гвожђе-угљеник није оправдано примењивати (технички и економски разлози). Јасно је да су обојени метали и легуре знатно скупљи од легура гвожђе-угљеник.

Предности обојених метала и њихових легура над легурама Fe-C огледају се у следећем:

- Бољој електричној проводљивости,
- Бољој топлотној проводљивости,
- Мањој специфичној тежини,
- Немагнетичности,
- Знатно већој корозивној отпорности,
- Већој пластичности и
- Посебно захтеваним својствима.

У ливарству се технички чист бакар ретко употребљава због слабих ливачких особина (ниске течљивости, склоности ка оксидацији и засићењу гасовима); примењује се у посебним случајевима за израду релативно једноставних одливака.

Алуминијумске легуре одликују се високом ливкошћу која им омогућава добијање танкозидних одливка, као и израду компликованих одливака.

Магнезијумске легуре за ливење примењују се у различитим подручјима индустрије и привреде, а што им омогућује низ позитивних особина: мала специфична тежина, високе механичке особине, висока хемијска постојаност итд.

Дакле, због својих одличних особина (физичких, хемијских, механичких, технолошких и експлоатационих) обојени метали и њихове легуре се широко примењују за израду најразноврснијих детаља ливењем.

8.0 ЛИТЕРАТУРА

- 1) Јовановић М., Лазић, В.: *Технологија ливења и заваривања*, универзитетски уџбеник, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2015.
- 2) Бранковић, М.: *Технологија ливачких калупа*, Технолошко-металуршки факултет, Београд, Београд, 1982.
- 3) Група аутора: *Љевачки приручник*, Савез љевача Хрватске, Загреб, 1985.
- 4) Група аутора: *Technologie tvareni, slevani a svarovani (navody ke cvičeni)*, Ediční stredisko, ČVUT, Praha, 1988.
- 5) Стевић, Д.: *Ливење обојених метала и њихових легура*, дипломски рад, Машински факултет у Крагујевцу, 1984.
- 6) Гулишија, З. *Основи ливачке технологије*, Научна књига, Београд, 1992.
- 7) Јовановић, М., Лазић, В., Арсић, Д.: *Наука о материјалима*, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2017
- 8) Ковач, Р.: *Технологија израде одливака*, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, друго издање, 2006.
- 9) Ковач, Р.: *Пројектовање ливница и ливничке технологије*, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, друго издање, 2007.