

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**

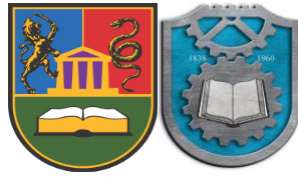
Лазар Н. Јерemiћ

АЛУМИНИЈУМ И ЊЕГОВЕ ЛЕГУРЕ

завршни рад

Крагујевац, 2020.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Индустијско инжењерство

Предмет: Машински материјали

Број индекса: 234/2019

Лазар Н. Јеремић

АЛУМИНИЈУМ И ЊЕГОВЕ ЛЕГУРЕ

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Нада Ратковић – ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У овом раду потребно је да кандидат прикаже алуминијум и његове легуре. То подразумева опис основних карактеристика, начин добијања, као и видове прераде алуминијума и његових легура. Посебан осврт треба да буде на примени алуминијума и његових легура као конструкцијског материјала у различитим областима индустрије. Треба дати примере примене поменутог материјала за одређене компоненте у аутомобилској индустрији.

Препоручена литература:

[1] М. Јовановић, Д. Адамовић, В. Лазић, Н. Ратковић: Машински материјали, Крагујевац, 2003.

[2] Ђукић В.: Машински материјали, Крагујевац, 1994

[3] Ђорђевић В.: Машински материјали – први део, Машински факултет, Београд, 1999.

Крагујевац, март 2020.

Ментор:
др Нада Ратковић, ванредни професор

Резиме

Тема завршног рада су алуминијум и његове легуре. У овом раду описан је алуминијум као хемијски елемент, затим са својим легурама као машински материјал, а приказана је и њихова широка употреба у разним гранама индустрије. У раду је описан начин добијања алуминијума, његове руде, карактеристике, као и карактеристике његових легура. Посебна пажња дата је примени ових материјала у производњи одређених компонената у аутомобилској индустрији.

Кључне речи: Алуминијум, легуре алуминијума, аутомобилска индустрија.

Abstract

The topic of final paper are aluminum and it's alloys. There's detailed description of aluminum as a chemical element, as machine material alongside it's alloys, and also theirs wide spectrum of application in various types of industry. Methods of obtaining aluminum, it's ores, characteristics, as well as characteristics of it's alloys will be described in this paper. Special attention will be granted to presenting the usage of aluminum and it's alloys in production of some components in automobile industry.

Keywords: Aluminum, aluminum alloys, automobile industry.

САДРЖАЈ

1. Увод	1
2. Руде и начини добијања алуминијума	2
2.1 Руде алуминијума	2
2.1.1 Боксит	2
2.1.2 Нефелини	5
2.1.3 Алунити.....	5
2.1.4 Каолини	5
2.2 Начини добијања алуминијума	6
2.2.1 Добијање алуминијума електролизом - Хал-Херултов процес	6
2.2.2. Бајеров процес	7
3. Својства алуминијума	9
3.1 Физичка својства алуминијума	9
3.1.2 Атомска структура	9
3.1.3 Кристална структура	9
3.1.4 Густина	10
3.1.5 Јачина	10
3.1.6 Топлотна и електрична проводљивост	10
3.1.7. Рефлексија и емисија	10
3.2. Хемијска својства алуминијума	12
3.3. Механичка својства алуминијума	12
3.4. Корозиона постојаност алуминијума	13
4. Легуре алуминијума.....	15
4.1 Легуре алуминијума са Mn, Mg, Si, Zn и Cu	16
4.1.1 Легуре са магнезијумом	17
4.1.2 Легуре са манганом	17
4.1.3 Легуре са бакром	17
4.1.4 Легуре са силицијумом и магнезијумом	17
4.1.5 Легуре са цинком и магнезијумом	18
4.2. Легуре за обраду деформисањем	18
4.2.1 Легуре које се термички не обрађују (некаљиве)	18

4.2.2	Легуре које се термички обрађују (каљиве)	20
4.3	Легуре алуминијума за ливење	26
5.	Методe обраде алуминијума и његових легура	29
5.1	Обрада одвајањем честица	29
5.1.1	Обрада стругањем	30
5.1.2	Обрада глодањем	31
5.1.3	Обрада рендисањем	32
5.1.4	Обрада брушењем	32
5.1.5	Обрада сечењем	33
5.1.6	Обрада бушењем	33
5.1.7	Нарезивање навоја	33
5.1.8	Обрада турпијањем	33
5.2	Заварљивост алуминијума и његових легура	34
5.3	Обрада пластичном деформацијом	35
5.4	Обрада ливењем	35
6.	Примена алуминијума и његових легура.....	36
6.1	Примена алуминијума и његових легура у електротехници	38
6.2	Примена алуминијума и његових легура у аутомобилској индустрији	39
6.2.1	Каросерија	40
6.2.2	Шасија и вешање	41
6.2.2.1	Подрамови	42
6.2.3	Управљачки систем	43
6.2.4	Кочиони систем	43
6.2.5	Точкови	45
6.2.6	Клипови	46
6.2.7	Блок мотора	47
6.2.8	Глава мотора	48
6.2.9	Резервоар за гориво	49
6.2.10	Остале алуминијумске компоненте	50
7.	Рециклирање алуминијума	51
8.	Закључак	53
9.	Литература	54

1. УВОД

Алуминијум (Al) је хемијски елемент периодног система елемената са атомским бројем 13. Спада у метале III главне групе, познате и као група бора, раније зване група земних гасова. Ради се о трећем најзаступљенијем елементу, а најчешће распрострањеном у Земљиној кори. Има добру електричну проводљивост (38MSm^{-1}) и топлотну проводљивост ($200\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$). Одликује га препознатљива сребрнкасто бела боја и густина од око $2,7\text{g/cm}^3$, што га чини лаким металом. Алуминијум је уз масени удео од 7.57%, после кисеоника и силицијума, трећи најзаступљенији елемент на површини земље, а најзаступљенији метал.

За разлику од осталих метала, алуминијум није био дуго познат човечанству. Енглески хемичар Хамфри Дејви га је први пут описао 1808. године при изоловању алуминијум оксида, назвавши га "алуминум", како се и данас зове у енглеском говорном подручју. Ханс Кристијан Естед, дански физичар и хемичар први је изоловао алуминијум 1825. реакцијом алуминијум хлорида са калијум амалгамом, користећи калијум као редукционо средство. Због скупocenости процеса изоловања алуминијума у то време, у почетку је сматран полу-драгоценим металом.

Фридрих Велер је користио исту методу 1827. године, али је за редукцију користио метални калијум па је тако добио чистији алуминијум. У то време алуминијум је био вреднији од злата. Сен Клер Девил је унапредио Велеров процес и самим тим повећао је принос алуминијума из руде, што је довело да цена алуминијума за десет година опадне за 90%.

Чарлс Мартин Хол и Пол Ерут су 1886. године независно један од другог, развили процес за производњу алуминијума путем електролизе, који је по њима назвар Хал-Херултов процес. Процес се састојао у пречишћавању оксида алуминијума у отопљеном криолиту, који се смештао у челичну посуду са угљеничним шипкама, а угљеничне шипке које су биле уроњене у отопљену супстанцу представљале су аноду.

Једина руда из које је могуће вршити економичну експлоатацију алуминијума је боксит. Овај метал има велики афинитет према кисеонику па се користи у процесу добијању метала из његових руда. То се постиже захваљујући способношћу алуминијума да истисне метал који желимо да добијемо и веже се са кисеоником. Овај поступак добијања метала назива се алуминотермија.

Алуминијум је изузетно погодан за добијање легура, легирањем различитим елементима, који доводе до побољшања одређених карактеристика, повећања чврстоће и неких јединствених својстава алуминијума као што су: висока термичка и електрична проводљивост, отпорност на корозију и нетоксичност. Додатком титана, магнезијума, цинка, берилијума гради легуре које су високе механичке тврдоће и чврстоће. Због ових карактеристика, примена алуминијума је искоришћена до максимума у разним гранама индустрије. Алуминијум је такође познат по својој нетоксичности па је заступљен и у изради посуђа и филтера за пречишћавање воде. Међутим, област примене на коју ће се фокусирати овај рад је аутомобилска индустрија.

2. РУДЕ И НАЧИНИ ДОБИЈАЊА АЛУМИНИЈУМА

2.1 Руде алуминијума

Због своје велике хемијске реактивности, алуминијум се, као што је већ наведено, не налази слободан у природи. Алуминијум је присутан као састојак одређених руда, мада издвајање алуминијума из већине њих није економски оправдано.

У пракси се не примењује хемијски чист већ металуршки алуминијум. Најчешће примесе у алуминијуму јесу гвожђе и силицијум које потичу из полазних сировина и тешко се одстрањују. Најприступачнија руда која испуњава скоро све услове за економично изоловање алуминијума је боксит. Осим боксита, руде вредне помена су: нефелини, алунати, каолини и глине. Заступљеност алуминијума је и у минералима, и то најчешће у минералима из групе алумосиликата. [4]

2.1.1 Боксит

Боксит је седиментна стена са релативно високим садржајем алуминијума. То је најраспрострањенија руда алуминијума из које се добија целокупна светска производња глинице. Француски геолог Пјер Бertiје је први пронашао ову руду 1821. године у Француској код места Бо, по чему је и добила име. По свом саставу боксит је сложена полукомпонентна сировина, састављена од алуминијумових хидроксида, оксида и хидроксида гвожђа као и силицијум оксида. У састав улазе и минерали: титана, калцијума и магнезијума. У производњи глинице квалитет боксита, углавном се одређује садржајем алуминијум оксида (Al_2O_3) и силицијум-диоксида. (SiO_2). Већи садржај алуминијум оксида и мањи садржај силицијум–диоксида доводе до бољег квалитета боксита и обрнуто. Најчешће је црвене боје са ситнозранастом структуром (сл 1).



Слика 1. Боксит [4]

Боксит се обично копа површинским копачем, јер се готово увек налази у близини површине терена, са мало или нимало других наслага. Од 2010. године приближно 70% светске производње сувог боксита прерађује се прво у алуминијум оксид а затим у алуминијум помоћу електролизе. Бокситне стене су обично класификоване према предвиђеној комерцијалној примени: металуршке, абразивне, цементне, хемијске и ватросталне. Алуминијум је у бокситу присутан у облику хидратисаних оксида:

гибсит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$,
хидралгита $\text{Al}(\text{OH})_3$,
каолинит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$,
бемита $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$,
диајспор $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Поред ових минерала алуминијум се у бокситу, у мањој мери може налазити у виду корунда Al_2O_3 и различитих алумо- силиката.

Постоји различите врсте боксита. Боксит може бити:

1. Монохидратни боксит. Ови боксити су "гвожђевити" са примесама каолинита, хлорита, калцита, сидерита, пирита, гибсита и ретко корунда. Боксити којима припадају су:
дијаспорски,
бемит-дијаспорски са преовлађењем дијаспора,
каолитинско-дијаспорски,
хлоритскодијаспорски,
бемитски,
каолинит-бемитски боксит.
2. Трихидратни боксити. Карактеристика за овај тип боксита је да могу да буду са великим и врло малим концентрацијама гвожђа, као и са променљивим концентрацијама каолинита, бемита и микрокорунда. Боксити којима припадају су:
гибситски,
каолинит-гибситски,
халајзит-гибситски и
алофангибситски боксити.
3. Боксити који представљају мешавину моно и трихидратних боксита имају погодан састав који је употребљив за прераду у технички Al_2O_3 , а потребан је за производњу примарног алуминијума. Квалитет боксита зависи од садржаја Al_2O_3 и осталих компоненти, а нарочито од садржаја SiO_2 . Ту спадају гибситско-бемитски.

Обично се руда боксита загрева у посуди под притиском заједно са раствором натријум хидроксида на температури од $150\text{--}200^\circ\text{C}$. На овим температурама, алуминијум се раствара као натријум алуминат (Бајеров поступак). Различити облици алуминијумске компоненте диктираће услове екстракције.

Нерастворени отпад, јаловина боксита, након издвајања једињења алуминијума садржи оксиде гвожђа, силицијум диоксид, калцијум, титанијум и нешто нереаговане глинице. После одвајања остатка филтрирањем, чисти гибсит се таложи када се течност охлади. Гибсит се обично претвара у алуминијум оксид загревањем у ротирајућим сушарама или флуидним калцинаторима до температуре веће од 1000°C. Овај алуминијумски оксид се раствара на температури од око 960°C у распотљеном криолиту. Даље, из ове растопљене супстанце може да се добије алуминијум пропуштајући кроз њега електричну струју у процесу електролизе. Овај процес је поменут у уводу а назива се Хол-Ерутов процес.

У Аустралији се налазе највећа светска налазишта боксита, а одмах затим следи Кина. Највећа лежишта са високом концентрацијом алуминијум оксида се експлоатише у рејону Веипа који лежи на Карпентаријском заливу, а мање у рејону Перт. Што се тиче Балкана, у Босни и Херцеговини се налазе велике количине боксита. Најпознатија налазишта боксита у Босни и Херцеговини су: Босанска Крупа, Јајце, Сребреница, Мостар и Љубишко. Неке процене говоре да резерве боксита у Босни износе око 30 милиона тона. У табели 1 рангиране су земље света по налазиштима боксита. Повећана рециклажа алуминијума, која има предност смањивања трошкова електричне енергије у производњи алуминијума, знатно ће проширити светске резерве боксита. [3]

Табела 1. Рангирање држава света по налазиштима боксита [3]

Ранк	Држава	Производња (у хиљадама тона)	Резерве (у хиљадама тона)
1	Аустралија	86,400	6,000,000
2	Кина	79,000	1,000,000
3	Гвинеја	57,000	7,400,000
4	Бразил	29,000	2,600,000
5	Индија	23,000	660,000
6	Индонезија	11,000	1,200,000
7	Јамаика	10,100	2,000,000
8	Русија	5,650	500,000
9	Казакстан	5,000	160,000
10	Вијетнам	4,100	3,700,000
11	Јужни Јемен	3,890	200,000
13	Грчка	1,800	250,000
14	Гвајана	1,700	850,000
15	Остале	9,000	3,740,000
16	Свет	327,000	30,000,000

2.1.2 Нефелини

Нефелин, приказан на слици 2, је минерал који се налази у стенама из истоимене групе у класи алуминосиликата. То је калијум-натријум алуминосиликат силицијумске киселине. Његово име потиче из грчке речи "нефели", што значи облак. По значају друга руда алуминијума, од које се комплексном прерадом у индустријском обиму производи глинаца. У свом саставу поред Al_2O_3 садржи и оксиде алкалних метала Na_2O и K_2O који се комплексном прерадом полазне сировине добијају као корисни производи.



Слика 2. Нефелин [5]

У свом саставу садржи калијум-6,69%, натријум-11,80%, алуминијум-18.47%, силицијум-19.23%, кисеоник-43.81%. Налазишта ових руда најзаступљенија су у Шведској, Немачкој, Италији, Румунији. [5]

2.1.3 Алунити

Алунити су полиметаличне сировине чијом се прерадом могу добити глинаца и соли алкалних метала: натријума и калијума. По свом хемијском саставу алунит представља двојни сулфат алуминијума и калијума (или натријума) $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{Al}(\text{OH})_3$. Заступљеност ове руде је у Америци. [6]

2.1.4 Каолини

Каолини и глине су најраспрострањеније сировине које у себи садрже алуминијум. Алуминијум је у глинама садржан у облику алумино-силиката каолинита. Каолинит, као основни носилац алуминијума у глинама, може да се обогаћује у циљу добијања богатије сировине, која се може користити за добијање глинице и алуминијума. Највећа налазишта ове руде су у Бразилу, Кини и Чешкој. [7]

2.2 Начини добијања алуминијума

Постоји неколико начина добијања алуминијума из наведених руда. Један од њих је коришћен дуго у производњи алуминијума - поступак електролизе. Данас је мање заступљен због напредка саме технологије и развојка базних поступака који се данас примењују за преко 95% укупне производње глинице у свету. Најзаступљенији поступци производње алуминијума су :

поступак добијања алуминијума електролизом применом Хал-Хелуртове ћелије, а од базних:

хидро-металуршки (Бајеров) поступак,

суви – алкални (Синтеров) поступак.

Оно што је заједничко за ова два поступка је својство да се производња своди на третирање сировине боксита натријумовим базама (NaOH или Na_2CO_3) у циљу превођења алуминијума из алуминијум-оксида у натријум-алуминат који је растворљив у води. Добијени алуминатни раствор одваја се од остатка црвеног муља и подвргава се процесу разлагања чиме се добија чист алуминијум-хидроксид уз регенерацију базе. Раствор са регенерисаном базом поново се враћа у процес све док се алуминијум-хидроксид не преводе у безводну глиницу. Иако оба поступка имају заједничку карактеристику, једино Бајеровим поступком добија се најчистији алуминијум уз примену квалитетних боксита. [3]

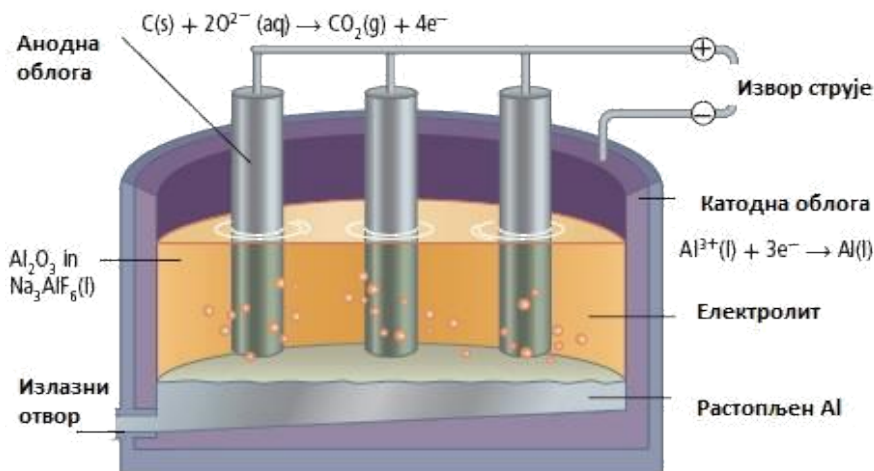
2.2.1 Добијање алуминијума електролизом - Хал-Херултов процес

Елементарни алуминијум не може се добити електролизом водене соли алуминијума, јер јони лако оксидишу елементарни алуминијум. Иако би се уместо тога могла користити растопљена сол алуминијума, тачка топљења алуминијумског оксида је 2072°C , па је електролиза непрактична. У Хал-Херултовом процесу, глиница (Al_2O_3), раствара се у растопљеном синтетичком криолиту (Na_3AlF_6), да би се смањила тачка топљења до чак 950°C ради лакше електролизе. Извор угљеника је углавном кокс (фосилно гориво). Јачина електричне струје при процесу је око 150.000 A , а напон је око 5 V . То доводи до таложења течног алуминијума на катоди, док се кисеоник из глинице комбинује са угљеником из аноде дајући углавном угљен-диоксид.

Ћелије у фабрикама раде 24 сата дневно, тако да растопљени материјал у њима неће очврснути. Температура у ћелији одржава се помоћу електричног отпора. Оксидација угљене аноде повећава електричну ефикасност по цену трошења угљеничних електрода и производње угљен-диоксида.

Док је чврсти криолит гушћи од чврстог алуминијума на собној температури, течни алуминијум је гушћи од топљеног криолита на температурама око 1000°C . Алуминијум тоне на дно електролитске ћелије, где се периодично сакупља. Течни алуминијум уклања се из ћелије путем сифона сваких 1 до 3 дана како би се избегла употреба вентила и пумпи за изузетно високе температуре. Алуминијум оксид се додаје у ћелије док се уклања алуминијум. Сакупљени алуминијум из различитих ћелија у фабрици се на крају истопа како би се обезбедио уједначен производ. Електролитска смеша је посута коксом како би се спречила оксидација аноде насталим кисеоником.

Мешањем растопљеног материјала у ћелији повећава се стопа његове производње на штету повећања нечистоћа криолита у производу. Правилно дизајниране ћелије могу да искористе магнетохидродинамичке силе индуковане струјом електролизе да узбуркају електролит. У статичким ћелијама базена које не узнемирују, нечистоће се подижу на врх металног алуминијума или се спуштају на дно, остављајући алуминијум високе чистоће у средњем делу. Шема ћелије приказана је на слици 3. [8]



Слика 3. Процес добијања алуминијума електролизом [8]

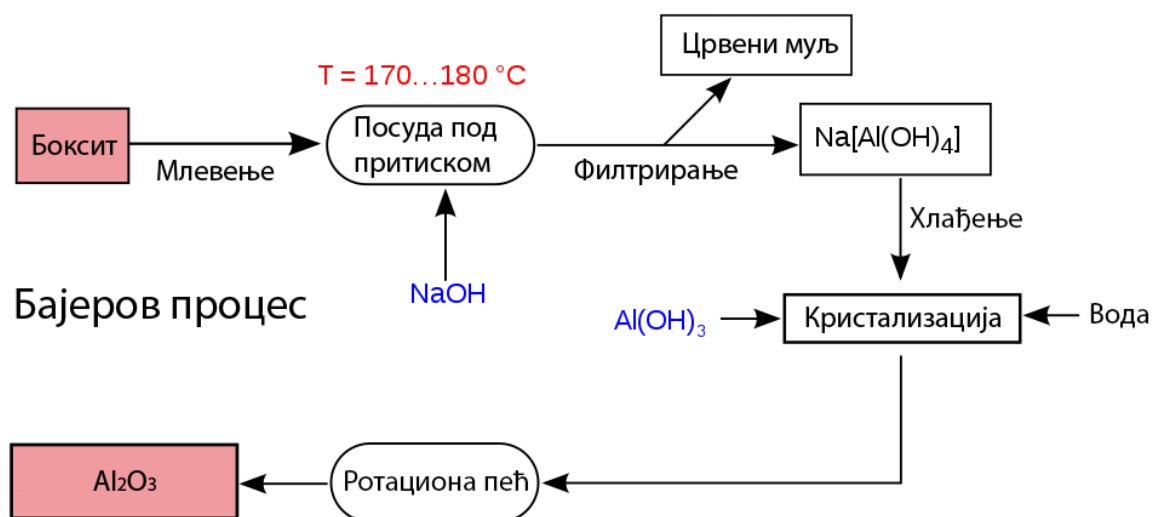
2.2.2. Бајеров процес

Бајеров процес је најзаступљенији поступак за производњу глинице. Овим хидрометалуршким поступком производи се око 90% глинице у свету. Историја овог поступка од преко 100 година у индустријској производњи, сведочи да се још увек могу наћи велике количине квалитетног, нискосилицијалног боксита. За прераду таквих боксита, Бајеров процес је најекономичнији, једноставан и омогућава производњу глинице високог квалитета. Процес носи име по аустријском хемичару Карлу Јосифу Бајеру, који га је и развио у периоду између 1887-1892 године. Временом је поступак напредовао, усавршен је и доведен до високог техничког нивоа.

На самом почетку овог поступка, потребно је да се састав боксита хомогенизује, затим дробе, меље и класира – фаза припреме. После припреме, боксит се третира у аутоклавима раствором NaOH да би се из боксита издвојила глиница у облику раствора натријумалумината. Загревањем се добија пулпа са раствором натријумалумината и нераствореног остатка црвеног муља. Пулпа се разблажује повратним раствором из система проточног прања црвеног муља, а затим се одваја течна фаза од чврсте. Нерастворени остатак се затим испира у циљу потпунијег издвајања алуминатног раствора, а раствор се филтрира у циљу одстрањивања заосталих честица црвеног муља. Тако бистар раствор натријумалумината се меша са делом раније исталоженог алуминијум хидроксида да би се убрзало издвајање алуминијума из алуминатног раствора. Овом операцијом алуминијум се издваја у облику хидроксида који се испира у циљу потпунијег издвајања од алкалног раствора. Испрани $\text{Al}(\text{OH})_3$ се класификује на температури око 1127°C , при чему настаје крајњи производ калцинирана глиница. Повратни раствор после издвајања и прања $\text{Al}(\text{OH})_3$ се упарава у циљу удаљавања вишка воде и повећања концентрације NaOH. Упарени раствор се поново враћа у процес жарења. Основни захтев који боксит треба да испуни прерађивањем по овом поступку и који би био економски оправдан је низак садржај силицијум диоксида у границама 5-8%. Шематски приказ овог процеса дат је на слици 4.

Сви ови поступци представљају добијање примарног алуминијума из боксита и осталих руда. Секундарним алуминијумом се сматра онај добијен из отпадака насталих прерадом и употребом алуминијума. Са економске тачке гледишта добијање секундарног алуминијума је економски оправдано посебно у раздобљу економске кризе. За растопљену електролизу глинице потребна енергија износи од 15000 до 18000kWh/t , док код добијања из отпадака у просеку од 3 до 5000kWh/t .

За добијање легура првенствено се користи секундарни алуминијум, јер се у савременим топионичким постројењима потпуно равноправно производи као и из примарног алуминијума. У пракси се 70-75% примарног алуминијума, који је био у саставу неких производа, може поново користити као секундарни алуминијум. Из овог су издвојени алуминијумски производи као: прах, гранулат, наноси (боје) и редукцијска средства. [9]



Слика 4. Бајеров процес [9]

3. СВОЈСТВА АЛУМИНИЈУМА

Главно својство технички чистог алуминијума је добра проводљивост електричне струје. Алуминијумске жице служе за пренос електричне струје на далеководима као и на ниско напонској мрежи. С обзиром на малу јачину жица од чистог алуминијума, за далеководе се углавном користе комбиноване челично-алуминијумске жице. Јачина челичне жице достиже 1200 МПа.

Значајна карактеристика алуминијума је добра топлотна проводљивост као и знатна отпорност на деловање хемикалија и животних намирница, па је широко распрострањен у хемијској и прехранбеној индустрији, као и у домаћинству. Алуминијум се користи и као дезоксидатор у металургији челика и као састојак мешавине за термитно заваривање. Добра корозиона отпорност алуминијума побољшава се вештачким путем, поступком елоксирања, при чему се повећава дебљина оксидног слоја Al_2O_3 који штити од корозије. Око 65% чистог алуминијума користи се за производњу алуминијумских легура, а остатак се користи за полупроизоде. У овом поглављу описана су основна физичка и хемијска својства алуминијума.

3.1 Физичка својства алуминијума

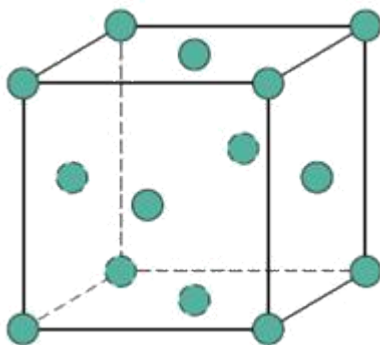
Алуминијум одликује препознатљива сребрнасто бела боја, са површински центрираном кубном решетком (сл. 5). То је лако топљив метал ($T_t=660^\circ C$) због појаве која се јавља у оквиру кристалне решетке где нису сви атоми потпуно јонизовани и у образовању металне везе не учествују сва три спољашња електрона. Поред тога што се лако топи алуминијум јако тешко прелази у гасовито стање. Температура кључања јако је висока ($T_{кључ.}=2519^\circ C$). Лак је и мек метал са густином $\rho=2,69g/cm^3$, због тога је погодан за извлачење у танке фолије и жице. Као проводник електричне струје заузима четврто место одмах иза бакра, сребра и злата. [1]

3.1.2 Атомска структура

Хемијски симбол алуминијума је Al са атомским бројем 13. То значи да је атом алуминијума састављен од 13 електрона, са негативним јединицама наелектрисања поређаних у три орбите. У спољашњој валентној орбити има три електрона који омогућавају ступање у хемијске реакције. [1]

3.1.3 Кристална структура

Код метала, кристализација представља промену агрегатног стања из течног у чврсто. Атоми се организују тако да формирају симетричне облике у виду мрежне структуре. Та структура се другачије назива кристална решетка. Код алуминијума заступљена је површински центрирана кубна решетка, приказана на слици 5.



Слика 5. Површински центрирана кубна решетка [1]

3.1.4 Густина

Алуминијум је 3 пута лакши од челика и бакра што га чини једним од најлакших метала. И поред мале тежине, у легурама има високу јачину што га чини веома важним структурним металом који утиче на целокупну масу производа која у одређеном тренутку захтева мању тежину. Зато је примена алуминијума знатно распрострањена на војну, аутомобилску и авиоиндустрију. У аутомобилској индустрији, овај метал налази примену због очигледне потребе да возила буду што лакша а истовремено отпорна на физичка и хемијска оштећења.

3.1.5 Јачина

Технички чист алуминијум нема велику чврстоћу. Знатно побољшавање јачине, до задовољавајућег нивоа, остварује се додавањем легирајућих елемената као што су силицијум, бакар, манган и магнезијум. Као метал добро подноси ниске температуре. Главна предност у односу на челик је та да сходно опадању температуре затезна чврстоћа се повећава при чему задржава своју жилавост. [3]

3.1.6 Топлотна и електрична проводљивост

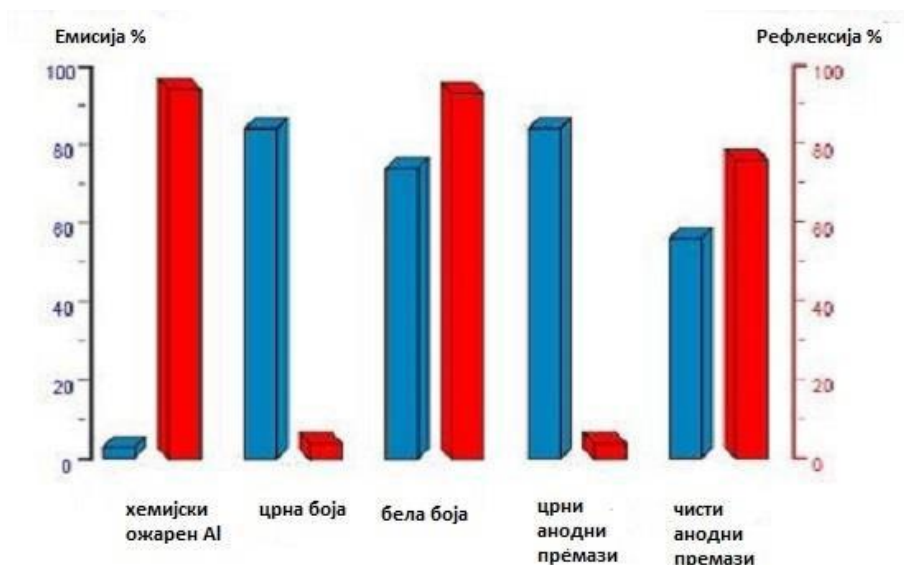
Алуминијум има високу топлотну проводљивост. Она износи око $200 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Алуминијум је веома важан и заступљен материјал у производњи грејних и расхладних уређаја као што су размењивачи топлоте. Чињеница да се ради о материјалу који је неотрован, омогућава његову примену у производњи кухињског посуђа.

У комбинацији са бакром, алуминијум има одличну електричну проводљивост, па такав може да се користи као електрични проводник. Иако је проводљивост најчешће коришћених легура 62% жареног бакра, он је само $1/3$ његове масе и зато може проводити два пута више електрицитета у поређењу са бакром исте тежине.

3.1.7. Рефлексија и емисија

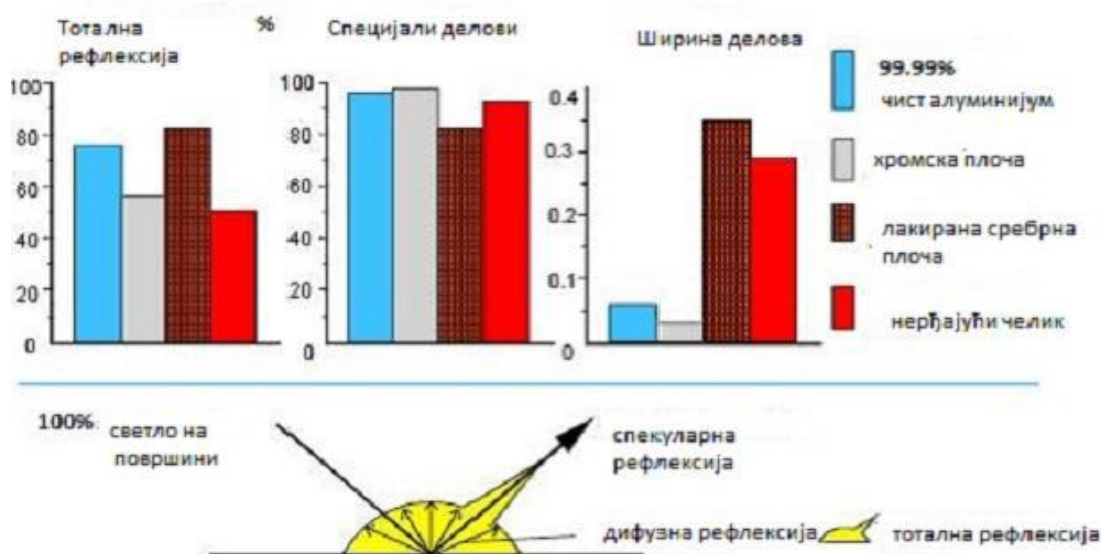
Емисивност је својство неке супстанце да зрачи сопствену топлотну енергију. Ова појава блиска је рефлексији. Чист алуминијум рефлектује око 75% светлости и 90% од топлоте зрачења приликом пада на алуминијум. Са таквим својствима при којем има високу рефлексију и ниску емисију доводи до коришћена алуминијумских фолија као рефлектујући изолациони медијум. Да би се побољшала емисија алуминијума користе се чисти анодни. премази који подижу емисију на између 35-65% фосфорне и хромне киселине, па је овај анодни третман један од најефикаснијих у том погледу.

Анодни третман је у ствари процес који се одвија код измењивача топлоте. Црни анодни премази имају још већи ефекат и подижу га на 95%. На слици 6 приказан је ефекат разних површина на којима се одвија емисија.



Слика 6. Рефлексија и емисија алуминијума са варијацијом површинског третмана [3]

Приликом компарације алуминијума са другим металима као што су хромска плоча, лакирана сребрна плоча, нерђајући челик види се да ће дебљина од 3mm дати потпуну рефлексију, већу од 84%, а спекуларна рефлексија (оштрина слике у огледалу) више од 99%, као што је приказано на слици 7.



Слика 7. Компарација рефлексије разноврсних метала[3]

3.2. Хемијска својства алуминијума

Алуминијум са другим хемијским елементима реагује на следеће начине:

- У реакцији са кључалом водом издваја водоник где прелази у алуминијум хидроксид.
- Веома лако се раствара у јаким базама.
- Раствара се у соној киселини и разблаженој сумпорној киселини истискујући водоник, док при растварању са концентрованом сумпорном киселином и додатком разблажене азотне киселине долази до издвајања сумпор (IV) оксида и амонијака.

Алуминијум је високо реактиван са простим и сложеним супстанцама. Индиректно даје једињења хидре – једињења водоника која су полимерна једињења састава $(\text{AlH}_3)_n$. Добро реагује на собној температури са флуором, хлором и бромом док на повишеној температури добро реагује са јодом (или уз присуство катализатора) где даје трихалогениде (оксидациони број $\text{Al} +3$) и монохалогениде (оксидациони број $+1$).

Такође, веома лако реагује са кисеоником, па се зато превлачи танком, компактном у води нерастворљивом опном алуминијум III оксида (Al_2O_3) која га штити од даље оксидације и чини га инертним. Када дође до уклањања ове опне, алуминијум постаје хемијски активни елемент.

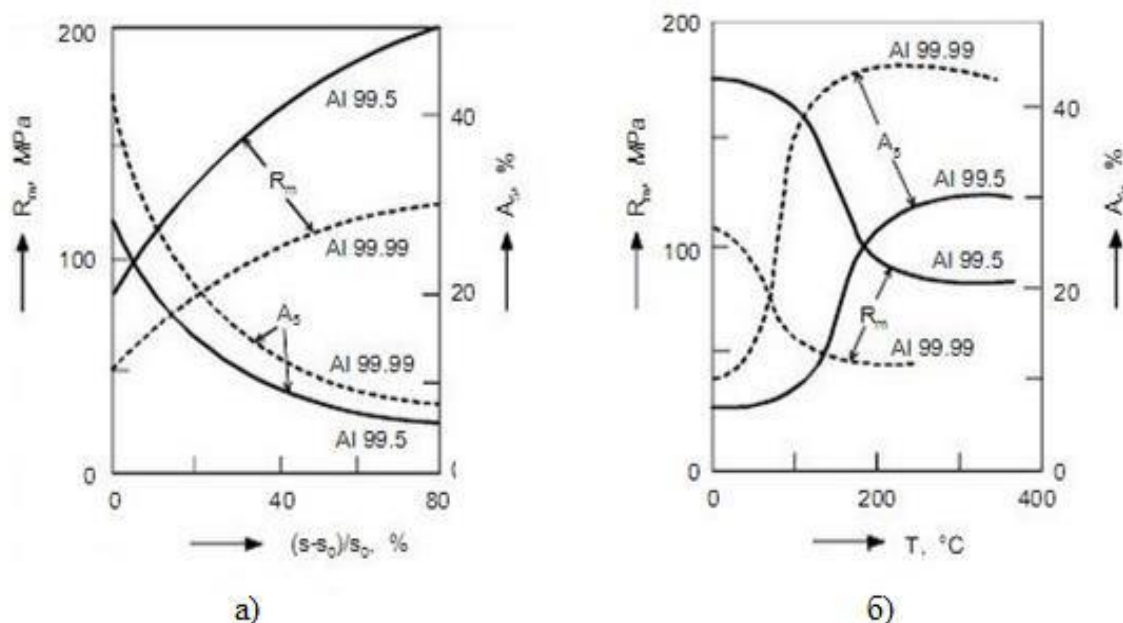
Добијање алуминијум III хидроксида је индиректно (у реакцији између соли алуминијума и база). Он је као и оксид нерастворан у води и има амфотерне карактеристике. У аморфном облику присутан је у природи, али временом његов облик прелази у кристални. Кристални облик овог хидроксида присутан је у природи у облику ципсита. [3]

3.3. Механичка својства алуминијума

Захваљујући томе што алуминијум може да поднесе велике деформације без појаве трајног оштећења, постоји могућност прераде овог елемента ваљањем, извлачењем, вучењем, машински и механички на разне начине. Обликовање је могуће до високих граница толеранције. Затезна чврстоћа код чистог алуминијума је око 90MPa , што се може повећати и до 690MPa код неких топлотно-третираних легура. Неке од других механичких својстава алуминијума су: R_m у зависности од прераде се креће од 90 - 180MPa , а тврдоћа од 20 - 40HB , док је пластичност веома висока што омогућава ваљање алуминијума до веома малих дебљина.

Технички чист алуминијум има ниску јачину, која се може повећати прерадом на хладно. На слици 8.а приказана је величина деформационог ојачања при истом степену прераде, обрнуто сразмерна чистоћи алуминијума, ток опорављања тј. пораста дуктилности, при издужењу $A_{5,56} \%$, и пада јачине R_m при рекристализационом жарењу дат је на слици 8.б. Степен прераде на хладно дефинише се односом $(s-s_0)/s_0$, где је s_0 – почетна дебљина, а s - крајња дебљина.

Једна од карактеристика је и полигонизација (издужена зрна постају разноврсна) што успорава ток старења и раста нових зрна. Ако је у питању чист алуминијум те промене почињу и на собној температури. Рекристализационо жарење обавља се на температурама од 300-400°C. Прерада алуминијума на топло, одвија се на температури вишој од температуре рекристализације. [1]



Слика 8. Промена јачине R_m и истегљивости $A_{5,65}$ технички чистог алуминијума :а) у зависности од степена прераде на хладно $(s-s_0)/s_0$, б) у зависности од температуре рекристализационог жарења $(s-s_0)/s_0 = 50\%$, време жарења 1h [1]

3.4. Корозиона постојаност алуминијума

Један од најважнијих разлога заступљености алуминијума у аутомобилској индустрији је свакако његов отпор на корозију. Алуминијум се одликује добрим корозионим својствима, што произилази из његове способности пасивирања, тј стварања заштитног слоја на површини. Образовање заштитног слоја код алуминијума је при Ph од 3 до 9 са максимумом $Ph=6,5-7,0$. Постојан је у атмосферским условима, као и према великом броју гасова, у гасовитом и течном стању, уколико није присутна водена пара. Добра постојаност резултат је стварања заштитног слоја тј. слоју оксида, који настаје у присуству кисеоника и других оксиданаса. У контакту са ваздухом површина алуминијума се покрива слојем оксида. Оксидација (Al_2O_3) се наставља успорено и након неколико дана се потпуно зауставља. Иако је танак овај слој је јако компактан и хемијски постојан. Створени оксидни слој је светле боје и не разликује се од основне боје метала. Временски ток раста природног оксидног слоја на узорку алуминијума сликовито је приказан на слици 9. [1]



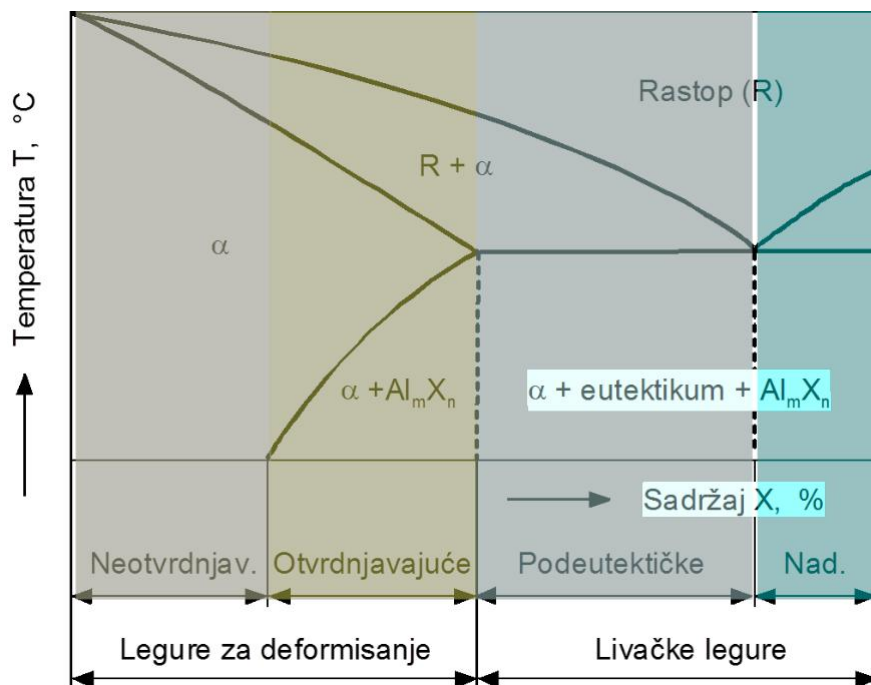
Слика 9. Пасивизација на алуминијуму у контакту са ваздухом [10]

Алуминијум је поред атмосфере стабилан и у води, као и неким много слабиим киселинама. Чист алуминијум је веома постојан у дестилованој води, кишници, слаткој питкој и у морској води. Постојаност чистог алуминијум је и у киселинама, јер што је већа чистота алуминијума спорије се одвија корозија. Алуминијум сам по себи је аморфног карактера. Раства се у јаким базама и неоксидајућим киселинама. Корозија у киселим срединама увек се одвија уз издвајање водоника.

Механичка својства алуминијума су јако лоша па се ретко примењује сам као конструкциони метал. Због тога се врши легирање са различитим елементима, како би се побољшале конструкционе карактеристике, али се тиме смањује корозиона постојаност. У погледу корозије легирање алуминијума је најпогодније са магнезијумом и манганом и такве легуре имају најбољу корозиону постојаност, поготову легуре са манганом јер стварају једињења која имају скоро исти потенцијал као и алуминијум. [2]

4. ЛЕГУРЕ АЛУМИНИЈУМА

Легирање алуминијума са различитим елементима (*Si, Cu, Mg, Mn, Zn...*) врши се у циљу побољшања његових техничких карактеристика. У површинској централној кубној решетки већина ових елемената гради ограничене чврсте растворе, а вишак који се јави гради са алуминијумом хемијска једињења при већем садржају еутектичке мешавине. На равнотежном дијаграму може се препознати предност легура алуминијума при њиховој примени у индустрији. На слици 10 приказана је шема бинарног равнотежног дијаграма. На дијаграму се види да хомогене легуре или легуре које се загревају могу се превести у хомогено стање (α -фаза; сл.10), истегљиве су и погодне за пластичну обраду (ваљање, ковање, пресовање итд.). Легуре које садрже еутектикум погодне су за ливење, док легуре које при собној температури у свом саставу садрже продукте сегрегације могу се таложно ојачавати. Постоји још легура које се могу ојачавати али се то углавном избегава јер им се тиме нарушавају механичка својства а уједно и слаби отпорност на корозију. [1]



Слика 10. Бинарни равнотежни дијаграм Al-X [1]

Легуре алуминијума се могу поделити према:

Начину технолошке прераде:

- легури за деформисање и
- легури за ливење.

Броју главних додатих елемената:

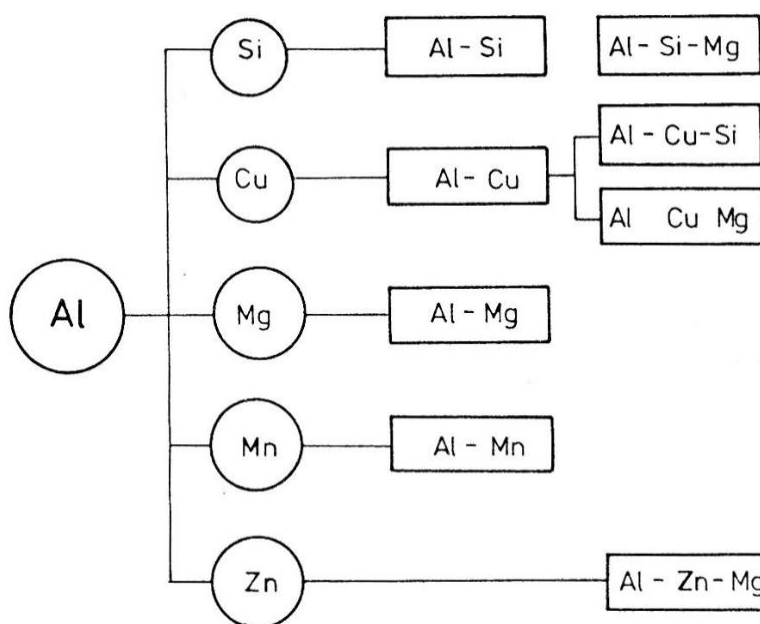
- двојне,
- тројне и
- сложене.

4.1 Легуре алуминијума са Mn, Mg, Si, Zn и Cu

Примена ових легура широко је распрострањена у разним гранама индустрије (авиоиндустрији, наменској, аутомобилској). У табели 2. дат је приказ легура и њихов хемијски састав, док је на слици 11 приказано формирање легуре са овим елементима.

Табела 2. Врсте легура алуминијума и њихов хемијски састав [11]

Легура	Mg (%)	Mn (%)	Si (%)	Fe (%)	Ti (%)	Cu (%)
Al 99.0	0,05	0,05	0,5	0,5	0,05	0,05
Al 99.5	0,05	0,05	0,25	0,4	0,05	0,05
Al Mn 0.5 Mg 0.5	0,2-0,8	0,3-0,8	0,6	0,7	0,1	0,3
Al Mn Mg	0,8-1,3	1,0-1,5	0,3	0,7	/	0,25
Al Mg2 Mn 0.3	1,7-2,4	0,1-0,5	0,4	0,5	0,15	0,15
Al Mg 2Mn 0.8	1,5-2,5	0,5-1,1	0,4	0,5	0,1	0,1
Al Mg 2.5 Cr	2,2-2,8	0,1	0,25	0,4	/	0,1
Al Mg 4.5 Mn	4,0-4,9	0,4-1,0	0,4	0,4	0,15	0,1



Слика 11. Формирање легура алуминијума са одговарајућим легирајућим елементима

4.1.1 Легуре са магнезијумом

Ове легуре поседују осредња механичка својстава, али су погодне за заваривање. Механичка својства ових легура се побољшавају при ниским температурама. Поред главног легирајућег елемента ових легура, магнезијума, у њима се могу наћи и манган и хром. Уколико је садржај магнезијума у легури већи од 5%, повећава се и њена корозиона отпорност нарочито у морској води, али са повећањем процента магнезијума опада могућност обликовања ових легура. Најчешће се ове легуре примењују у грађевинству, бродоградњи, цистернама за транспорт и за посуде.

4.1.2 Легуре са манганом

Ове легуре одликује пластичност и добра отпорност при атмосферским условима, као и лака заварљивост. Користе се за дубоко извлачење, за измењиваче топлоте и слично. Најчешће се употребљава *AlMgMn* од које се праве конзерве за пиће. Легуре алуминијума са манганом и силицијумом, намењене су за обраду деформисањем и термички се не обрађују.

4.1.3 Легуре са бакром

Механичка вредност ових легура у рангу је са механичким вредностима меких челика. Ове легуре се једим именом називају **дурали** као што је напоменуто у претходном делу. Употреба им је за радне носиве делове. Лоша им је заварљивост са малом корозионом отпорношћу. Ради корозионе заштите често се ове легуре облажу чистим алуминијумом. Масовна им је употреба у авиоиндустрији, наоружању и механичким деловима.

4.1.4 Легуре са силицијумом и магнезијумом

Легуре са ова два легирајућа елемента, силицијумом и магнезијумом, не одликују се нарочитим механичким својствима, али су изузетно погоне за обликовање и добро заваривање. Такође поседују и добра корозиона својства, а деле се на:

Богатије по садржају силицијума и магнезијума уз додатак мангана, хрома и цинка. Имају боља механичка својства. Употребљавају се у носивим елементима. Сиромашније по садржају силицијума и магнезијума, што им омогућује одличну могућност обликовања уз нешто лошија механичка својства. Ова фамилија има широку примену: за декорације, прозоре, врата, фасаде, заварене делове, цеви, транспортну опрему, каросерије, за вагоне возова и за метро јарболе и слично.

4.1.5 Легуре са цинком и магнезијумом

Цинк и магнезијум уз додатак бакра су легуре са највећом чврстоћом од свих легура алуминијума. Други назив ових легура је **конструктали**. И овде постоји подела на две групе али у зависности од тога да ли садрже или не садрже бакар:

Легуре са баком са којима је загарантована највећа чврстоћа. Могу се заваривати једино у специјалним условима. Ове легуре подложне су корозији. Најчешће се употребљавају у авио и свемирској индустрији.

Легуре без бакра поседују нешто лошија механичка својства од претходне групе. По правилу су отпорнија на корозију од легура са баком.

4.2. Легуре за обраду деформисањем

Постоје два основна типа легура за обраду деформисањем:

- Легуре које се термички не обрађују (некаљиве) - двојне легуре.
- Легуре ојачане термичком обрадом (каљиве) - тројне легуре.

Најчешћи легирајући елементи код ових легура јесу: Mn, Mg, Cu, Zn и Ni.

- Mn- предност овог легирајућег елемента огледа се у томе што повећава јачину, обрадивост деформисањем, рекристализациону температуру, отпорност на корозију и ограничава раст зрна при растворном жарењу.
- Mg- погодан је јер повећава отпорност на корозију и повећава јачину
- Cu и Zn- видно ојачавају легуру али погоршавају обрадивост деформисањем и отпорност на корозију.
- Ni – елемент који утиче на механичка својства и то поготово на вишим температурама као и на отпорност према корозији. [1]

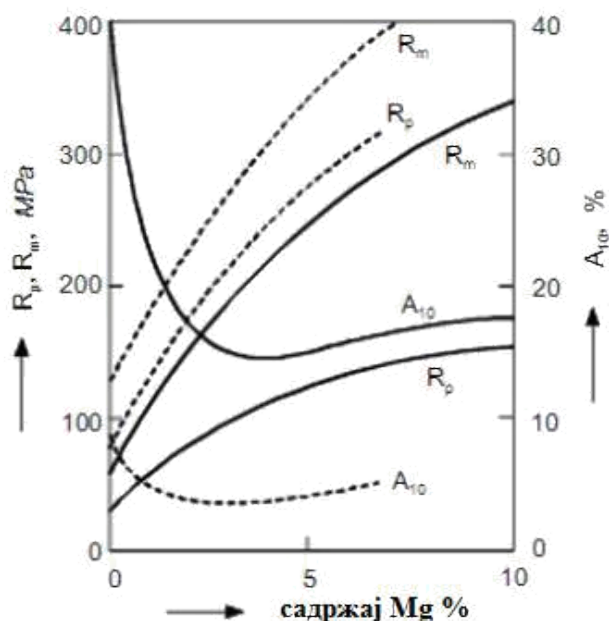
4.2.1 Легуре које се термички не обрађују (некаљиве)

Некаљиве легуре су обично легуре са додацима магнезијума и мангана. Садржај магнезијума у легури алуминијума не треба да буде већи од 5,5% јер већи садржај доводи до јаке интеркристалне корозије. Велика антикорозиона отпорност изразита је нарочито према морској води.

Главни извор повишене чврстоће код ових легура је основни чврсти раствор, док излучене фазе само минорно доприносе укупном нивоу чврстоће. У ове легуре убрајају се двокомпонентне легуре Al-Mn и Al-Mg. Експлоатишу се у облику лимова, штапова, цеви, жица, профила. Растворљивост Mn у фази α је мала. Користе се легуре до 1.5% Mn, јер већ при 2% Mn настају, у току кристализације, примарни кристали фазе Al₆Mn, који погоршавају механичка својства.

Код ових легура неопходно је додатно легирање манганом, што омогућава преципитацију честица Al₆Mn које имају двоструко дејство (ојачавају матрицу, профињују зрно). Примена ових легура могућа је или у жареном стању или у стању након пластичне деформације. Жарење се обично врши на температурама од 310-410°C са накнадним хлађењем на ваздуху.

У микроструктури легура AlMn јавља се крупнозрнаста и стубичаста кристализација која се потискује микролегирањем (Ti, B, Zr). Веома битна предност ових легура је могућност ојачавања прерадом на хладно до $R_m=200\text{MPa}$ (деформацино ојачање), као и добра отпорност на корозију.



Слика 12. Утицај Mg на механичка својства легуре AlMg за деформисање у жареном стању (пуна линија) и у ојачаном стању (испрекидана линија) [1]

Магнезијум се знатно раствара у фази α , али се избегава таложно ојачавање легуре AlMg, јер би незнатно повећање јачине довело до великог смањења истегљивости. Када расте садржај Mg уједно расте и удео фазе β (Al_3Mg_2) што доводи до погоршања обрадивости деформацијом и смањења отпорности на корозију. Зато се користе легуре са до 5% садржаја Mg. Утицај магнезијума на својства легуре AlMg приказан је на слици 12. Ојачане легуре AlMg лако се опорављају (често и на собној температури), а добра својства опстају и на ниским температурама.

Наведене легуре се добро обликују, заварују и достижу добар ниво корозионе постојаности што је јако битно у војној индустрији. Обрада резањем нарочито у жареном стању прилично је отежана. Успешно се користе као делови конструкција код којих је потребна висока корозиона постојаност код нижих нивоа механичких оптерећења. Одлика ових легура је и у томе што имају велику пластичност, корозиону отпорност и способност заваривања, али чврстоћа им није нарочито велика.

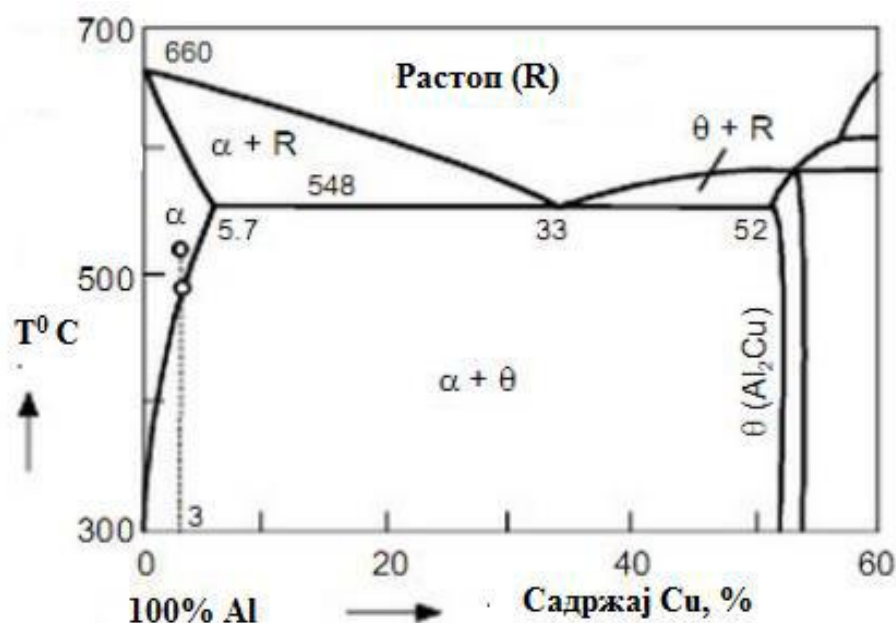
Легура алуминијума за гњечење имају различите намене, као на пример за:

- кровне лимове,
- амбалажу,
- судове под притиском,
- закивке,
- прехранбену и електротехничку индустрију,
- откивке у машиноградњи,
- ауто делове и
- сличне статички оптерећене предмете.

4.2.2 Легуре које се термички обрађују (каљиве)

Неке легуре за прераду деформисањем као и сами одливци алуминијумских легура имају углавном малу јачину али високу истегљивост (дуктилност). Повећање јачине врши се термичком обрадом која се састоји у загревању дела до одређене температуре, држању на тој температури (прогоревању) и затим брзом хлађењу у води. Чврсти раствор образован на високој температури се брзим хлађењем задржава и на собној температури. Овакав поступак обраде, са загревањем, прогоревањем и хлађењем зове се пресићење. Затим следе сложени процеси таложног (преципитационог) ојачања које је уско повезано са појавом старења.

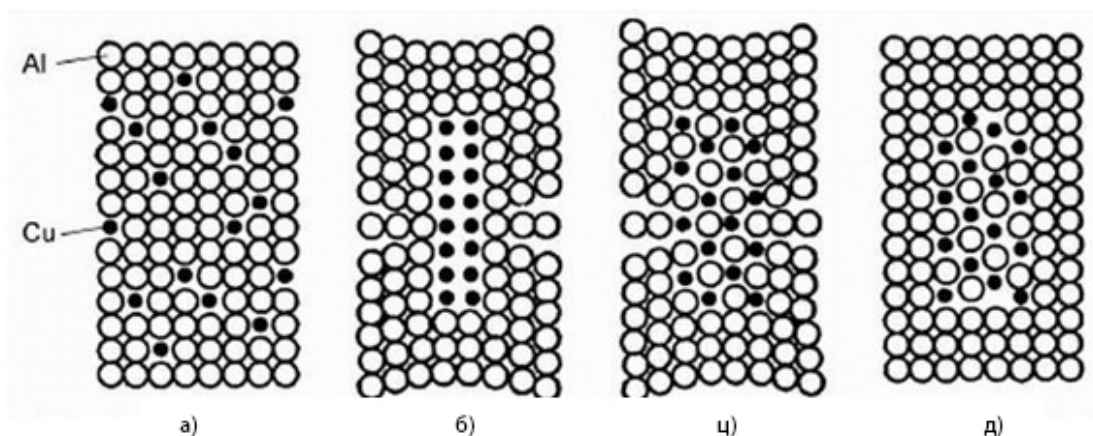
Ово је типична термичка обрада већине алуминијумових легура, мада је заступљено и отврдњавање. Код отврдњавања, таложе се fine и равномерно распоређене честице које делују као препрека кретању дислокација и тиме доводе до ојачања легуре. Микроструктурне промене, које се дешавају при таложном ојачању, најбоље се могу објаснити на примеру бинарног система AlCu. На слици 13. приказан је бинарни дијаграм AlCu. Када у чврстом раствору α растворљивост бакра при температури 548°C са 5,7% опада на 0,1% при собној температури долазимо до претпоставке да се створио пресићени чврсти раствор при брзом хлађењу из α -зоне. Ако се изабере легура која у себи садржи 3% бакра на собној температури се види да ће имати хетерогену структуру коју сачињава раствор α и сегрегат θ (Al_2Cu), излучен на границама зрна. Релативни удео сегрегата расте кад се састав легуре приближава максималној растворљивости бакра (5,7%) у фази α . [1]



Слика 13. Део равнотежног дијаграма Al-Cu [1]

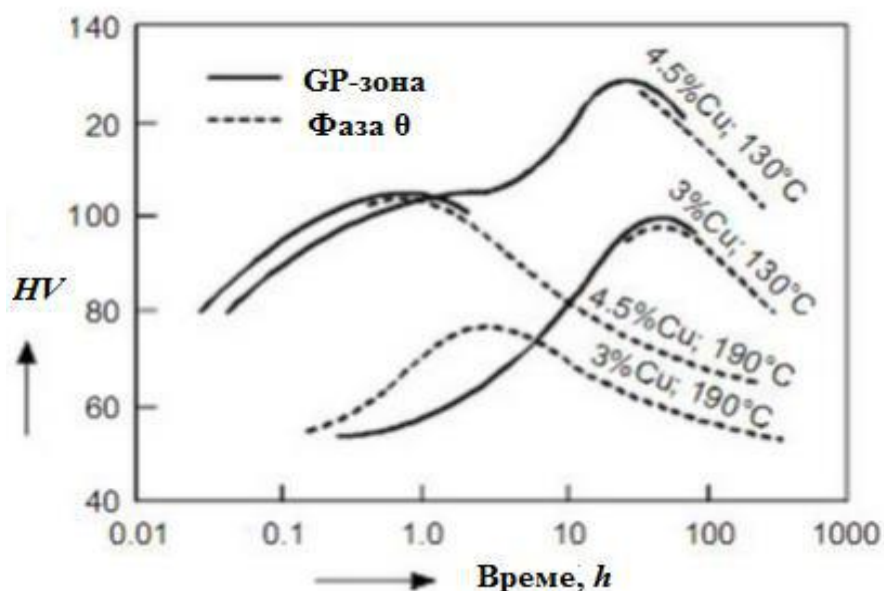
Процес ојачавања одвија се у следеће три етапе:

- 1) Прва етапа - етапа раствореног жарења обухвата загревање изабране легуре до области чврстог раствора α , тј. изнад сегрегационе тачке од 490°C , а испод солидус линије (на пример на 520°C). На тој температури легуру треба задржати све док се не раствори сав сегрегат тако да тој температури одговара само хомогена α -фаза.
- 2) Друга етапа је каљење. Каљење претставља брзо хлађење легура обично до собне температуре. На тај начин се омета сегрегација која би иначе код легура са 3% Cu започела већ при 490°C . Наглим хлађењем добија се пресићени чврст раствор α' који садржи 3% Cu уместо 0.1% Cu што би одговарало равнотежном стању. Стање фазе α' је термодинамички нестабилно и при температури околине дошло би до њеног распада (природно старење). Ако дође до увођења активационе енергије (нпр. топлотне, механичке) долази до много бржег распада метастабилне фазе α' .
- 3) Трећа етапа ојачавања, старење, може бити природно (на температури околине) и вештачко (на повишеним температурама). Појаве које се одвијају при старењу зависе од хемијског састава легуре и од температуре старења. Код легуре бакра одвијаће се при 130°C старење тако што ће се најпре у одређеним кристалографским равнинама фазе α' нагомилавати атоми бакра. Те области се називају Гиније-Престонове зоне (GP-зоне) које су приказане на слици 14 а), б). У каснијим стадијумима ове GP-зоне на слици 14 ц), д) образују сопствену тетрагоналну решетку, чије се кристалографске равни надовезују на равни површински центриране кубне решетке фазе α . Ове су решетке кохерентне, што значи да између GP-зона и α - фазе нема оштре фазне границе. GP-зоне се могу уочити само на електронском микроскопу, а не и на оптичком. Ове зоне деформишу кристалне решетке фазе α што ствара у њиховој околини одређено напонско стање које блокира померање дислокација и тиме ојачава легуре. [1]



Слика 14. Шема старења пресићеног чврстог раствора легуре AlCu_4 : а) после пресићења, б) настанак Гиније-Престонове зоне, ц) образовање кохерентних фаза θ' , д) издвајање фазе θ [1]

У даљем току старења (слика 14 ц) настаје метастабилна фаза θ' чија је тетрагонална фазна решетка полукохерентна; агрегати фазе θ' овде су окружени дислокацијама које воде до делимичне релаксације околних напонских поља, тако да је ојачање у поређењу са GP-зонама мање. Даље долази до огрубљавања честица θ' , које тиме постају мање кохерентне са претходном фазом. Тај стадијум означава се као предстарење. Најзад цео систем доспева у равнотежно стање у коме се налазе фазе α и θ (слика 14д).



Слика 15. Зависност тврдоће HV од времена старења t за две легуре $Al-Cu$ и две температуре старења [1]

Старењу одговарају и промене механичких својстава. Та зависност приказана је на слици 15, која указује на утицај бакра и температуре старења. Таложно ојачање је веће када је и састав легура ближи ка максималној растворљивости бакра у чврстом раствору α . Старење се убрзава када се повећа температура. При томе постоји гранична температура при којој даље не настају GP-зоне које доводе до максималног ојачања. Промена микроструктуре и механичких својстава дешава се и са сложенијим системима у којима се налазе вишекомпонентне легуре алуминијума.

У поменућу групу спадају легуре алуминијума са Cu , Mg , Si , Zn и Li . Такве легуре постижу висок ниво механичких својстава али после одговарајућих термичких обрада. У табели 3 дате су карактеристике легура које се термички обрађују. [1]

Табела 3 Основне карактеристике легура алуминијума за гњечење које се термички обрађују [11]

Легуре	Назив	Ознака	Својства	Примена
<i>Al – Mg – Si</i>	Авијали	<i>AlMgSi</i>	<i>Rm <330 Мпа</i> <i>A<12%</i>	За средње напрегнуте конструкције у бродоградњи.
<i>Al – Cu – Mg</i>	Дурали	<i>AlCu3Mg</i> <i>AlCu5Mg1</i> <i>AlCu5Mg2</i>	<i>Rm<470 Мпа</i> <i>110 HB</i> <i>A<17%</i>	За напрегнуте и јако напрегнуте конструкције у војној индустрији.
<i>Al – Zn – Mg</i>	Конструктали	<i>AlZn5Mg3Cu1</i>	<i>Rm <520 Мпа</i> <i>A<12%</i>	Авио индустрија, грађевинство; нису корозионо постојане
<i>Al-Li-Cu-Mg</i>	Легуре алуминијума и литијума	<i>Al3Li</i>	<i>Rm <630 Мпа</i>	Главна легура за израду авиона

Дуралуминијум

Немачки научник Алфред Лим, радио је на припреми легуре алуминијума која у себи садржи 95,5% чистог алуминијума, 4% бакара и 0,5% магнезијума коју је на крају закалио. Бакар се у тој легури налази у облику једињења које гради са алуминијумом (CuAl_2), а магнезијум у облику једињења које гради са силицијумом (Mg_2Si). На нормалној температури, образована једињења налазе се највећим делом на граници зрна, а делимично је у облику чврстог раствора у кристалима алуминијума. Специфична маса дуралуминијума је $2,850\text{g/cm}^3$, лако се подвргава механичкој обради, тако да се по својим карактеристикама најчешће приближава неким врстама челика.

Добијање легура дуралуминијума састоји се из неколико поступака:

- Први поступак је добијање зоне минералне отпорности, која представља погодност за технолошку обраду. Добија се на тај начин сто се врши загревање на температури од 350°C јер тада материјал постаје погодан за обраду пластичном деформацијом.
- После ове обраде омекшан материјал готових делова се подвргава поступку каљења.
- Каљењем се подстиче чврстоћа и тврдоћа материјала, која траје постепено временом од неколико дана, што није исти случај као код челика.
- На собној температури врши се хлађење при каљењу, а затим следи прање у топлој води ради уклањања соли које су јако корозивне. Одлагањем у складишта отпочиње процес "природног старења".
- Старење се као процес може убрзати тако што се предмет после загревања хлади у води, а затим се суши у струји топлог ваздуха, такозваног вештачког старења.

Уколико се одмах после каљења, нови делови чувају на ниским температурама, процес старења се нагло продужава или се чак ни не појављује. До данас је развијено више легура овим поступцима које се донекле разликују по саставу, начину термичке обраде и ознакама, али чине једну групу легура - дурале.

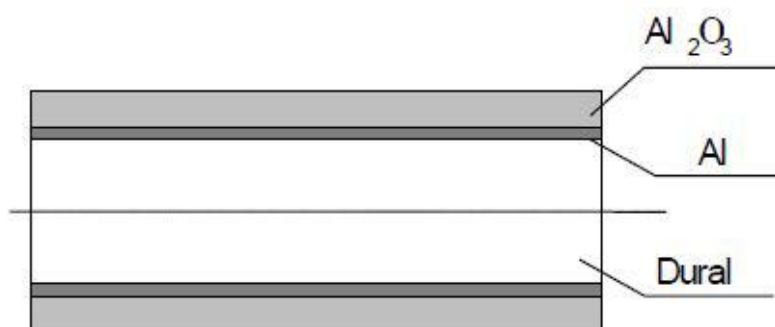
Овакве легуре деле се у два основна типа:

Први тип легуре садржи: Al; 3,8-4,8 %Cu; 0,5%Mg; 0,5%Mn; 7%Si;

Други тип легуре садржи: Al; 3,8-4,5%Cu; 1,2-1,8%Mg; 0,5%Mn; 5%Si.

Легуре дурала се користе за делове средње и повишене чврстоће. Такође, њихова примена је изражена и када се траже добре заморне карактеристике и задовољавајућа постојаност према корозији.

Дуралуминијум у кородирајућој сланој средини врло брзо кородира и пропадне па је било неопходно пронаћи технику заштите ових материјала од корозије. Материјал којим се врши заштита назива се Al-klad (Al-clad). Добија се поступком који се у енглеском језику назива "*cladding*" (превлака) (слика 16). На површину дуралуминијума наноси се танак слој чистог алуминијума који врло брзо оксидише и ствара заштитни слој оксида (Al_2O_3), који штити од даље корозије. [12]



Слика 16. Попречни пресек Al-klad алуминијума [12]

Каљење дуралуминијума састоји се у загревању до 500 ± 10 °C са хлађењем у води собне температуре. Ове температуре каљења треба се придржавати ради успешног закаљивања, јер загревање ниже од 490°C доводи до непотпуног каљења, а загревањем више од 510°C изазива форсирани пораст зрна што доводи до повећања крутости.

Специфично својство дуралуминијума је да се након каљења не постиже одмах чврстоћа и тврдоћа, као код челика, већ тек у року 5 до 6 дана, а највећи пораст чврстоће и тврдоће је у току првих 12 сати. Овај процес постепеног очвршћавања назива се старење. Старење при собној температури у времену од 5 до 6 дана назива се природним старењем, а дијаграмски је приказано на слици 17.

Авијали се кале на температури 515°C до 525°C у води, а ојачање, било природним било вештачким старењем, врши се на температури 160°C у трајању од 12 сати. Најбоље је спровести вештачко старење одмах након каљења, да би се избегло стварање нижег нивоа својстава чврстоће. Авијали се користе за израду лимова, профила, цеви и сл. Погодни су за израду делова за конструкцију који нису изложени претераној отпорности, али где се захтева висока пластичност на нормалним и повишеним температурама. [3]

Конструктали

Код ових легура главни легирајући елемент је цинк са масеним уделом до 8% уз додатак мале количине магнезијума који доприноси повећању чврстоће. Када се дода хром овим легурама долази до могућности перципитацијског ојачавања. Ове легуре су механички отпорније од дурала. Имају највећу чистоту од свих алуминијумских легура. Када се подвргну процесу пеципитационог ојачања легирани елементи стварају интерметалне спојеве са алуминијумом или међусобно. Висока граница течења, чистота и тврдоћа постиже се вештачким старењем након раствореног жарења. У преципитацијски ојачаном стању средња вредност чврстоће износи око 550N/mm^2 , а зависно од хемијског састава и металуршког стања чврстоћа може достићи и 676N/mm^2 . Будући да су то легуре високе чврстоће оне имају смањену отпорност на пуцање услед напонске корозије, па је због тога развијен низ термомеханичких поступака како би се уклониле предиспозиције за појаву селективних облика корозије.

Вештачким старењем претходно растворно жарене легуре, може се побољшати не само отпорност напонској већ и корозији љуштењем. Смањење предиспозиција за појаву напонске корозије спроводи се и затезање материјала за контролисану величину деформације чиме се редукују заостала напрезања. Ове легуре високе механичке отпорности осетљиве су на појаву и на ширење прслина. [3]

4.3 Легуре алуминијума за ливење

Ојачавање легура алуминијума врши се са одговарајућим елементима за легирање (Cu, Mg, Mn, Si, итд.) ради побољшавања механичких и хемијских својстава. Легуре за ливење садрже већу количину легирајућих елемената који граде лако топљиве еутектикуме што омогућавају добра својства ливкости. Проблем ових легура је слабија механичка својства у односу на легуре за гњечење (мања чврстоћа, пластичност и жилавост). Повећањем дебљине зидова одливака долази до смањења чврстоће легуре.

Легуре алуминијума за ливење су бројније могу се поделити у пет основних група:

- Права група су легуре Al и Si, познате под именом **силумини**.
- Другу групу чине легуре Al са Si и Cu.
- Трећу групу чине легуре Al са Cu.
- Четврту групу легура чине Al са Mg које се одликују високим механичким својствима и отпорношћу према корозији. Користе се за израду лаких одливака за транспорте машине.
- Пету групу чине легуре алуминијума са другим компонентама у које поред набројаних спадају и Ni, Zn и Ti.

Најзаступљенија је свакако прва група легура или **силумини**. Ливачке легуре погодне су за таложно ојачање како силумини са додацима бакра, магнезијума и никла, тако и легуре типа Al-Cu са осталим додацима који су наведени у табели 4.

Табела 4. Одабране ливачке легуре алуминијума [11]

Ознака хемијског састава	Примена
<i>AlSi13Mn</i>	Танкозидни одливци непропустљиви за течност.
<i>AlSi10Mn</i>	Израда прибора који долази у додир са животним намерницама.
<i>AlMg5SiMn</i>	Ребрасте цилиндарске главе, главне компоненте архитектуре.
<i>AlMg9MnBe</i>	Одливци отпорни у атмосфери и морској води.
<i>AlSi10MgMn</i>	Танкозидни одливци у авио и ауто индустрији.
<i>AlSi12Ni2C</i>	Клипови за рад на високим температурама (примена у средствима наоружања).
<i>AlSi8Cu4Mn</i>	Високооптерећени сложени одливци
<i>AlCu4Ni2Mg</i>	Клипови већих димензија (клипови код артиљерије).
<i>AlCu8FeSi</i>	Кућишта и кошуљице клизних лежишта.

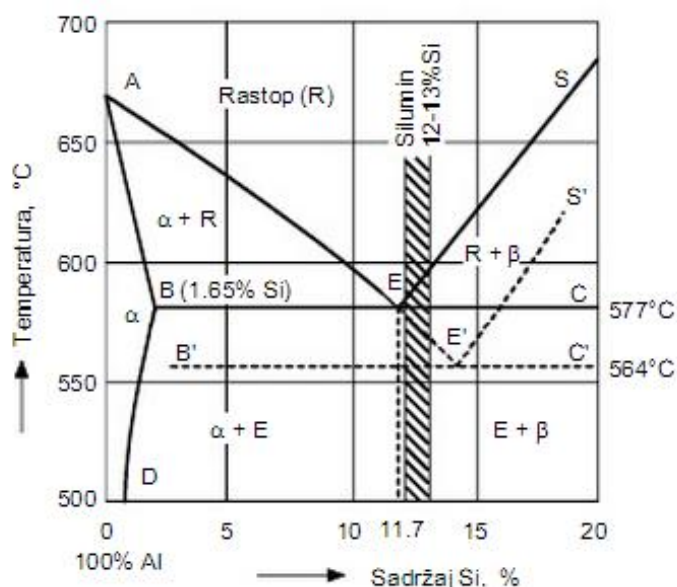
Када се магнезијум дода силумину долази до ојачавања на топлотном при чему главна отврдњавајућа фаза је β' (Mg_2Si). У ојачаном стању може да се достигне затезна чврстоћа $R_m = 200-250 MPa$, при веома малом издужењу (1-3%).

Силумини

Најраспрострањенија легура алуминијума је силумин, који садржи 12-13% Si и по свом саставу одговара еутектикуму у систему Al-Si. Силумин има специфичну масу нешто мању од $2.600 g/cm^3$, а употребљава се за веома сложене одливке где се захтевају истовремено значајна механичка чврстоћа и мала специфична маса. Силумин је врста алуминијумске легуре која се посебно добро обрађује ливењем.

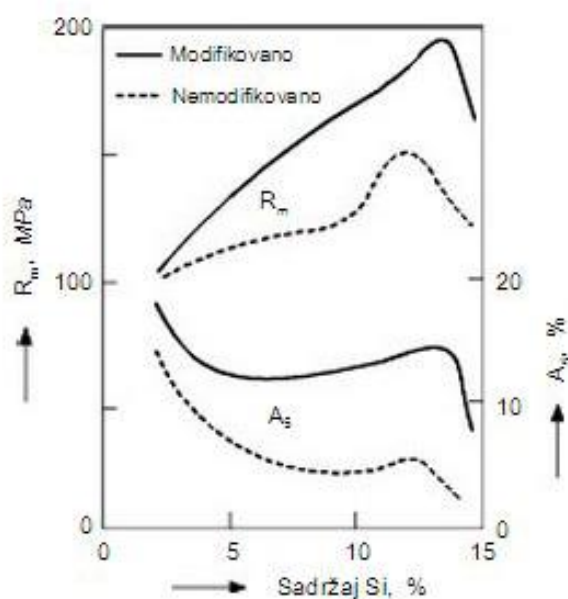
Настаје када се алуминијум легира силицијумом као главним додатком и споредним додацима бакра, магнезијума, мангана, хрома и никла. Силицијума у тим легурама има 5 – 13% и око 0,2-0,5% магнезијума. Оне легуре које садрже нешто бакра и магнезијума могу се термички обрађивати. Чврстоћа тих легура износи $140-300 N/mm^2$, тврдоћа $50-120 HB$, а издужење до 5%.

Силумини немају велику чврстоћу јер се у њима после ливења образује релативно груба ламеласта структура са примесима силицијума. Ради добијања повољнијих ситнозрнастих кристала фазе β , силумински лив се модификује одговарајућим додацима (0.1% Na или 2% NaCl + NaF), који умањују кристализациону способност фазе β . На тај начин растоп очвршћава уз веће потхлађивање те настаје ситан еутектикум. Тако насталим потхлађивањем еутектичка температура пада са $577^\circ C$ на $564^\circ C$ (сл.19), што одливку даје ситнозрнасту структуру, а тиме и боље механичке карактеристике. Модификација мање утиче на подеутектички силумин ливен у кокилама или под притиском, јер је ту довољно потхлађивање металним калупима. Утицај процента силицијума и модификације на механичке особине силумина приказан је на слици 20. [1]



Слика 19. Равнотежни дијаграм стања легура алуминијум - силицијум

Силумини имају ниску специфичну масу (2.65g/cm^3), добру отпорност према корозији, малу могућност полирања, а при ливењу добру ливкост, мало скупљање (0.5%) и нису склони прелинама.



Слика 20. Утицај Si на механичке карактеристике силумина у ливеним кокилима [1]

Силумин се користи за израду различитих делова у моторној индустрији, ваздухопловству, бродоградњи и другим областима. Од силумина се израђују разни делови возила са моторима СУС, као што су:

- кућишта,
- карбуратори,
- блокови мотора и
- клипови.

5. МЕТОДЕ ОБРАДЕ АЛУМИНИЈУМА И ЊЕГОВИХ ЛЕГУРА

Како се неки материјал понаша при разним врстама обраде детерминишу његова технолошка својства. То значи да су технолошка својства показатељ да ли се неки материјал може подвргнути неком технолошком процесу. У технолошка својства алуминијума и његових легура, убрајају се:

Обрада алуминијума и његових легура одвајањем честица, а ту спадају:

- обрада стругањем,
- обрада глодањем,
- обрада рендисањем,
- обрада брушењем,
- обрада сечењем,
- обрада бушењем,
- обрада нарезивања навоја,
- обрада турпијањем.

Обрада алуминијума и његових легура заваривањем.

Обрада алуминијума и његових легура пластичном деформацијом.

Обрада алуминијума и његових легура ливењем.

Обрада алуминијума и његових легура термичком обрадом.

5.1. Обрада одвајањем честица

Алуминијум и његове легуре су лако обрадиве на свим конвенционалним алатним машинама. Карактеристике обраде овог метала, произилазе првенствено из његове мале тврдоће, што резултује знатно мањим отпором резања него код челика и тешких метала. Максимална брзина резања је често ограничена могућностима машина.

Велике брзине резања и са тим у вези велика економичност обраде могу се постићи само уз исправно обликовање резних алата и оптимизацију режима обраде на поједине типове легура алуминијума.

Уопштено важи правило, да сви алати за обраду алуминијума и његових легура морају бити фино брушени и тако обликовани, да осигуравају довољан простор за струготину, како не би дошло до, такозваног, налепљивања на оштрици за обраду алуминијума и његових легура примењују се алати израђени од уобичајених резних материјала:

високоугљеничног челика,

брзорезног челика,

тврдог метала,

дијаманта.

Иако се алуминијум и његове легуре међусобно знатно разликују по механичким и металуршким својствима, са становишта способности обраде и резања, и то на пример: према настајању и врсти струготине,

према храпавости и квалитету обрађене површине,

према сили (отпору) резања,

ови материјали се могу поделити у три основне групе:

Група А - У ову групу спадају чист алуминијум и топлотне неочврстљиве легуре мале тврдоће, легиране углавном манганом и магнезијумом, или силицијумом. Карактеристични представници ове групе су легуре AlMn, AlMgMn и AlMgз. Ови материјали у меком стању имају врло неповољна својства за обраду одвајањем честица, јер осим неугодне појаве, налепљивања, настаје течна, дугачка и врло жилава стругодина, што не дозвољава обраду на аутоматима.

Група Б - Овој групи припадају легуре легиране са магнезијумом, манганом и претежно силицијумом, уз евентуално додаток олова у сврху лаке обраде на аутоматима. Конкретно, ради се о топлотно неочврстљивим легурама у тврдом стању, топлотно очвршћеним легурама AlMgSi, AlCuMg и AlZnMgCu, па специјално развијеним легурама AlCuMgPb, AlCuPbBi и AlMgSiPb, за обраду на аутоматима. Легуре ове групе могу се врло добро обрађивати одвајањем честица, при чему су ливене легуре због мање жилавости, тј. веће кртости повољније за обраду од легура обликованих пластичном обрадом.

Група Ц - У овој групи се налазе само легуре за ливење, богате силицијумом, а уз то по потреби легиране магнезијумом и бавром (AlSi, AlSiCu, AlSiMg, AlSiMgCu). Присутност веће количине силицијума манифестује се у току обраде двојачко: позитивна страна је стварање мале до ситне струготине, а негативна знатно јаче трошење оштрице алата. Најбољи услови фине обраде ових легура у великосеријској производњи постижу се дијаманским алатима уз примену највећих брзина резања и минималних посмака и дубина резања.

5.1.1. Обрада стругањем

За стругање алуминијума и његових легура најчешће се примењују алати израђени од брзорезног челика и тврдог метала. Предност имају алати од тврдог метала, јер то код грубе обраде омогућава знатно теже режимо рада, а истовремено код фине обраде, због знатно већих брзина резања, а резултује бољим квалитетом површине.

За стругање алуминијума уопштено важе следеће препоруке:

- код грубе обраде и тврдох легура угао ножа β требало би повећати,
- за мекше легуре и код завршне обраде угао ножа β је мањи,
- код алата од тврдог метала леђни угао α требало би одржавати на минималном дозвољеном растојању.

Основни параметри обраде, дати су у табели 5.

Табела 5. Карактеристике алата и режима обраде код стругања алуминијума и његових легура [11]

Материјал алата	Високоугљенични или брзорезни челик	Тврди метал
Углови алата	$\beta=30-80^\circ$ $\gamma=0-50^\circ$ $\alpha=7-10^\circ$	$\beta = 45 - 69^\circ$ – омиуте легуре $65 - 84^\circ$ – чврсте легуре $70 - 84^\circ$ – легура са 11 до 13 % Si
Груба обрада	$a \leq 6 \text{ mm}$ $s = 0.1 - 0.5 \text{ mm/o}$ $v \geq 225 \text{ m/min}$	$a \leq 6 \text{ mm}$ $s = 0.1 - 0.8 \text{ mm/o}$ $v \geq 225 \text{ m/min}$
Фина обрада	$a \leq 0.75 \text{ mm}$ $s = 0.1 - 0.25 \text{ mm/o}$ $v \geq 225 \text{ m/min}$	$a \leq 0.8 \text{ mm}$ $s = 0.1 - 0.25 \text{ mm/o}$ $v \geq 225 \text{ m/min}$

5.1.2. Обрада глодањем

За глодање се, зависно од врсте обрађиваног материјала, режимима обраде и дужини захвата алата са израдом, примењују алати израђени од:

- високоугљеничног челика (за кратке пролазе), брзорезног челика (за дуже пролазе),
- тврдог метала (за велике брзине резања и обраду легура са високим садржајем силицијума).

Сва глодала за обраду алуминијума и његових легура имају грубље озубљење (мањи број зубаца) са квалитетно обрађеним лицем алата и резним оштрицама. Предњи угао γ и бочна косина, већи су него код глодала за челик. Геометрија алата и оријентационе вредности за режиме обраде су приказани у табели 6.

Табела 6. Параметри геометрије алата и режима обраде код глодања алуминијума и његових легура [11]

Материјал алата	Брзорезни челик	Тврди метал
Углови алата	$\beta=48-67^\circ$ $\gamma=10-35^\circ$ $\alpha = 3 - 7^\circ$ примарни $7 - 9^\circ$ секундарни $\lambda=10-50^\circ$	$\beta=68-97^\circ$ $\gamma=-10-15^\circ$ $\alpha = 3 - 7^\circ$ примарни $7 - 12^\circ$ секундарни $\lambda=20-10^\circ$
Груба обрада	$a \leq 5 - 6 \text{ mm}$ $s \leq 3 \text{ m/min}$ $s' = 0,1 - 0,6 \text{ mm/o}$ $v \geq 150 - 600 \text{ m/min}$	$a \leq 6 - 8 \text{ mm}$ $s \leq 6 \text{ m/min}$ $s' = 0,1 - 0,5 \text{ mm/o}$ $v \geq 900 - 4500 \text{ m/min}$
Фина обрада	$a \leq 0.5 \text{ mm}$ $s \leq 3 \text{ m/min}$ $s' = 0,1 - 0,6 \text{ mm/o}$ $v \geq 1200 - 1500 \text{ m/min}$	$a \leq 0.5 \text{ mm}$ $s \leq 6 \text{ m/min}$ $s' = 0,1 - 0,5 \text{ mm/o}$ $v \geq 900 - 4500 \text{ m/min}$

5.1.3. Обрада рендисањем

Постоје два вида рендисања: краткоходно и дугоходно. Код краткоходног рендисања, главно кретање изводи алат, а код дугоходног алат мирује, а креће се израдак. Без обзира на врсту рендисања, код обраде алуминијума и његових легура примењује се увек максимална брзина резања која је ограничена конструкцијом машине. У оба случаја алат има исту геометрију оштрице, врло сличну алату за стругање, али са већим углом нагиба.

Као материјали за алате, користе се високоугљенични или брзорезни челици. Углови алата и режими обраде, приказани су у табели 7.

Табела 7 Углови алата режими обраде код рендисања алуминијума [11]

Материјал алата		Високоугљенични или брзорезни челик	
Врста рендисања		Дугоходно	Краткоходно
Груба обрада			
Углови алата		$\beta=64-37^{\circ}$	$\beta=61-73^{\circ}$
		$\gamma=10-19^{\circ}$	$\gamma=10-20^{\circ}$
		$\alpha=7-9^{\circ}$	$\alpha=7-9^{\circ}$
		7 - 9° бочно	7 - 9° бочно
		$\lambda=30-40^{\circ}$	$\lambda=30-40^{\circ}$
Режими обраде		$a \leq 10 \text{ mm}$	$a \leq 12 \text{ mm}$
		$s = 0.5 - 2.5 \text{ mm/o}$	$s = 0 - 0.7 \text{ mm/o}$
		$v = \text{max. могућа}$	$v = \text{max. могућа}$
Фина обрада			
Углови алата		$\beta=30-37^{\circ}$	$\beta=30-37^{\circ}$
		$\gamma=43-52^{\circ}$	$\gamma=43-52^{\circ}$
		$\alpha=8-10^{\circ}$	$\alpha=8-10^{\circ}$
		0° бочно	0° бочно
		$\lambda=50-60^{\circ}$	$\lambda=50-60^{\circ}$
Режими обраде		$a = 0.1 - 0.45 \text{ mm}$	$a = 0.1 - 0.3 \text{ mm}$
		$s = 1 - 10 \text{ mm}$	$s = 2 - 4 \text{ mm}$
		$v = \text{max. могућа}$	$v = \text{max. могућа}$

5.1.4. Обрада брушењем

Код алуминијума и његових легура брушење се ретко примењује, јер већина легура, нарочито у меком стању узрокује запушење брусног кола, као и клизање по површини израдка. Тврде алуминијумске легуре су нешто повољније за брушење. Фактори, који су битни за квалитетно брушење су: правилан избор брусног кола, правилан избор средства за хлађење и оптимална брзина брушења.

5.1.5. Обрада сечењем

Један вид сечења је уздужно сечење тракастом и лиснатом тестером, а у суштини је врло слично рендисању. Други вид сечења је сечење кружним алатом (циркуларом), које у потпуности одговара кружном ободном глодању.

При обради алуминијума и његових легура сечењем примењују се тестере са већим зубима од оних за челик. Зубци морају бити тако смештени, да осигуравају довољно места за струготину, а узубине добро заобљене и фино исполиране, да олакшају формирање и кретање струготине.

5.1.6. Обрада бушењем

Код бушења алуминијума и његових легура, задовољавајући резултати се постижу применом релативно великих брзина резања. Струготина се са оштрица мота и пролази кроз спирални жлеб заједно са течномашћу за подмазивање. Жлебови морају бити полирани и довољно широки да смање трење и отпор пролазу струготине. Повећањем дубине бушења, повећава се и опасност нагомилавања струготине у жлебовима, па је неопходно чешће чишћење и подмазивање бургија.

5.1.7. Нарезивање навоја

Све конвенционалне методе израде навоја су примењиве на алуминијуму и његовим легурама, али је геометрија алата прилагођена специфичностима обраде лаких метала.

Спољашњи навоји најчешће се израђују на струговима. Дубина резања је ограничена на 0.4 до 0.5 милиметра по пролазу. У серијској производњи примењују се главе за резање навоја, које се по завршетку резања саме отварају.

Код нарезивања унутрашњих навоја на алуминијуму и његовим легурама, примењују се специјалне бургије за нарезивање.

У случају примене стандардних резних бургија за челик, постоји опасност угњечења резаног материјала у навоје бургије и у вези са тим, често долази до лома алата.

5.1.8. Обрада легура турпијањем

За турпијање алуминијума и његових легура примењује се турпијање са релативно грубим и дубоким жлебовима. Повећани угао нагиба оштрице (λ) осигурава самочишћење жлебова и спречава пуњење турпије струготином. Не смеју се употребљавати турпије за челик, због врло лаког и брзог пуњења жлебова струготином.

5.2. Заварљивост алуминијума и његових легура

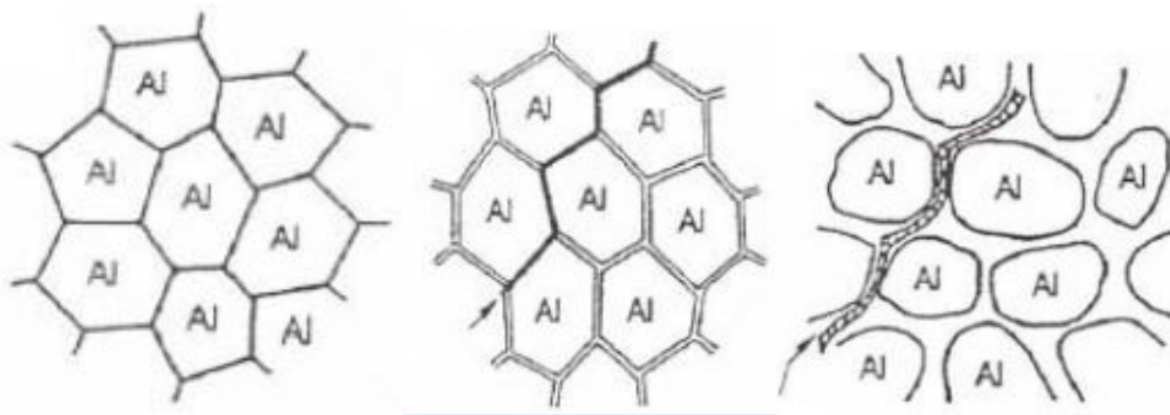
Алуминијум и његове легуре се могу заваривати свим уобичајеним поступцима заваривања. Способност заваривања за различите поступке битно зависи од садржаја легирајућих елемената.

На заварљивост алуминијума утичу разни чиниоци, који изискују примену сложеније технологије заваривања у поређењу са челицима. Најважнији утицај на заварљивост имају:

- Велики коефицијент линеарног ширења омогућава појаву великих деформација и напрезања, које су често изроци појаве прелина при заваривању. Стога треба бирати поступак заваривања којим ће се уносити минимална количина топлоте у основни метал.
- Осетљивост неких Al-легура при загревању на излучивање (преципитације) у ЗУТ утиче на снижавање механичких својстава и отпорност према корозији комплетног завареног споја.
- Алуминијум при загревању не мења боју што отежава визуелно праћење температуре топљења.

5.2.1. Захтеви заварљивости и заварених спојева

Основни захтев за алуминијумски материјал за заваривање је да не сме имати склоности ка настајању прелина. Термички отврднути и хладно ојачани алуминијумски материјали имају снижене вредности чврстоће у ЗУТ. Због тога се, за заварене спојеве конструкција од алуминијумских материјала, не може рачунати на вредности чврстоће основних материјала. Конструкционо, заварени спојеви могу да буду у оквиру подручја са нижим оптерећењем. На слици 21. приказани су типови очвршћавања легура алуминијума.



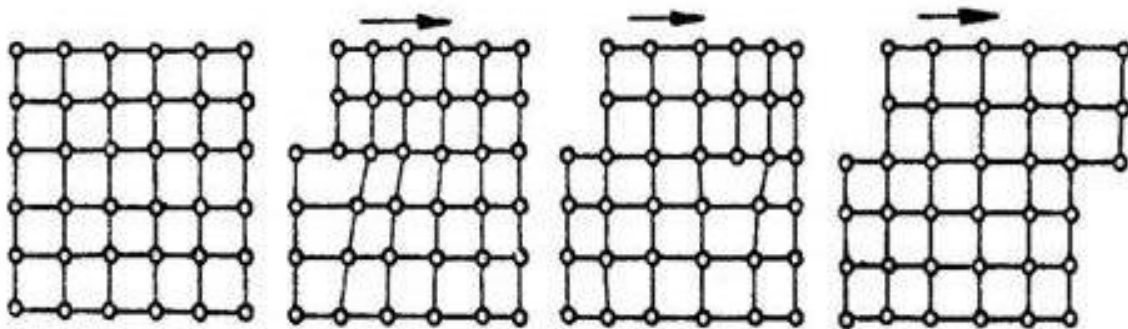
Слика 21. Различити типови очвршћавања легура алуминијума

Сви алуминијумски материјали, посебно они са повишеном чврстоћом, код статичких и динамичких напрезања су веома осетљиви на зарез. При заваривању хладно отврдњавајућих само закаљивих легура типа AlZnMg применом додатног материјала истог састава као основног материјала долази до појаве великих прелина. Применом додатног материјала са 5% Mg који садржи мале количине Mn и Cr смањује се склоност ка образовању ових прелина у знатној мери.

5.3. Обрада пластичном деформацијом

Метали као кристалне структуре поседују својства пластичног деформисања у хладном и топлом стању. Ово служи као основа за низ метода обраде метала пластичном деформацијом, са и без одвајања, које се примењују у свим индустријама. Све методе обраде пластичном деформацијом углавном дефинише алат, за разлику од обраде резањем где методе дефинише, пре свега, кинематика, односно машина.

Пластично деформисање је врло сложен процес, а појављује се као последица принудног трајног померања групе атома у кристалним метала. Основни механизам пластичног деформисања састоји се у клизању и двојниковању у равнима кристалног конгломерата. Равни клизања се поклапају са местима где постоје линеарни дефекти кристалне решетке, који се називају дислокација (слика 22).



Слика 22. Померање дислокације кристалне решетке при пластичном деформисању

5.4. Обрада ливењем

Гравитационо ливење у кокиле (уливање у металне калупе) има веома широку примену у изради алуминијумских одливача. Одливци ливени гравитационо примењују се у свим гранама машинства (мотори са унутрашњим сагоревањем, гасна техника, бродоградња итд.). У односу на друге поступке ливења имају одређене предности, те веома су распрострањени.

У поређењу са уливањем у пешчане калупе, уливање у кокиле има следеће предности:

- боље механичке карактеристике брже одвођење топлоте омогућује хлађење за краће време и формирање ситнозрнасте структуре,
- тачност димензија и облика је већа, као и квалитет површине (мањи додаци за обраду),
- економичнија производња:
- опада потрошња песка за калуповање,
- мања потрошња песка за језгра јер неке од језгара могуће је заменити металним,
- мање време израде јер није потребна израда пешчаних калупа,
- мањи радни простор није потребно складиштење и обрада песком.

6. ПРИМЕНА АЛУМИНИЈУМА И ЊЕГОВИХ ЛЕГУРА

Као машински материјал, алуминијум се са својим легурама највише користи у следећим гранама индустрије:

- Транспорт (аутомобили, авиони, камиони, возови, бродови, бицикли, свемирске летелице), а користи се због мале густине.
- Паковања (лименке, фолије, оквири), а користи се због своје нетоксичности.
- Зграде и конструкција (прозори, врата, грађевинска жице, облоге, кровиште). Будући да је челик јефтинији, алуминијум се користи када су битне лакоћа и отпорност на корозију.
- Електрична енергија (легури проводника, мотори и генератори, трансформатори, кондензатори), а користи се јер је релативно јефтин, високо проводљив, има одговарајућу механичку чврстоћу и малу густину.
- Широки спектар предмета за домаћинство, од посуђа до намештаја.
- Машине и опрема (опрема за обраду цеви, алати), а користи се због отпорности на хемикалије и механичке чврстоће.

Алуминијум оксид се обично користи као катализатор за индустријске процесе. Један такав је, на пример, Клаусов процес - поступак за претварање водоник-сулфида у сумпор у рафинеријама и у алкилат амина. Многи индустријски катализатори су подупрти алуминијум оксидом (глиницом), што значи да се скуп катализаторски материјал распршује по површини инертне глинице. Друга основна употреба је као средство за сушење или апсорбент.

Глобална производња алуминијума у 2016. години износила је 58,8 милиона метричких тона. Производња алуминијума је тиме превазишла било који други метал осим гвожђа (1,231 милиона метричких тона). Због своје мале густине, алуминијум се често употребљава у околностима где је неопходно смањити тежину, на пример код транспортних машина да би се смањила њихова маса а самим тиме и потрошња горива. То се нарочито односи на свемирске летелице и авионе. Осим њих, значај алуминијума је порастао и у аутомобилској индустрији (сл.23). [3]



Слика 23. "Austin A40" из 1951.

У прошлости, аутомобилска индустрија је мало користила алуминијум, јер су с њим били повезани проблеми његове високе цене, слабог заваривања делова од алуминијума као и проблематичне отпорности на замор материјала и својства деформације. Већ тридесетих година двадесетог века неке америчке компаније су користиле алуминијум да би смањиле тежину војних амфибијумских возила. При градњи мањих и средњих јахти, много се ценила отпорност алуминијума према корозији у сланој морској води, због поменуте способности да ствара танки заштитни слој оксида на површини, мада ова карактеристика у многим случајевима представља проблем јер се у легурама ризик од корозије повећава. Године 2010. око 35% светске производње алуминијума је трошила индустрија транспортних средстава.

Употреба алуминијума ради смањења тежине се углавном примењује у апликацијама где цена материјала не игра велику улогу. Нарочито је употреба алуминијума и његове легуре дуралуминијума раширена у индустрији авиона и свемирских летилица. Већи део структуре данашњих комерцијалних авиона састоји се из алуминијумских лимова различитих чврстоћа и легура, међусобно спојених. Код новијих модела авиона алуминијум је замењен још лакшим вештачким материјалима начињеним од карбонских влакана.

Велике количине легираног алуминијума се користе у индустрији превозних средстава. Легуре могу побољшати ливна или ковна својства алуминијума. Управо у изради авиона алуминијум је, због своје мале густоће и отпорности према корозији, тражен материјал, а захваљујући развоју нових технологија заваривања, то постаје и у аутомобилској индустрији те производњи вагона и локомотива нових генерација. Легуре алуминијума налазе велику примену и у аудио-индустрији (звучничке мембране) или као основа за израду компакт дискова (CD плоча, CD ROM-а итд.). Разноврсност алуминијумских производа приказана је на слици 24.

На светском тржишту, цена сировог алуминијума се кретала око 1.770 долара по тони, према подацима из 2014. [3]



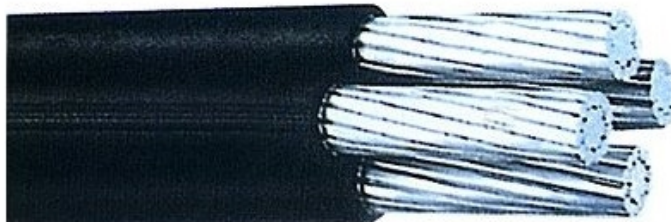
Слика 24. Разни производи од алуминијума

6.1 Примена алуминијума и његових легура у електротехници

Алуминијум је добар електрични проводник. По једном граму масе, боље проводи електричну струју од бакра, али заузима већу запремину од њега, па је по квадратном центиметру попречног пресека проводника бакар бољи проводник. Док је бакар мање реактиван и може се лакше обрађивати од алуминијума, проводници од алуминијума се користе само у случајевима где је неопходно смањити тежину проводника.

Алуминијум се нарочито користи као електрични проводник за струју у електричној мрежи, када је реч о великим и дебелим проводницима као што су струјне шине и каблови за уземљење. У овом погледу алуминијум се показао јефтинијим од бакра. Алуминијумски проводник приказан је на слици 25.

Контакти од алуминијума су проблематични, јер због притиска унутар контаката долази до пластичне деформације (пузања) материјала. Осим тога, током времена се пасивизира стајањем на ваздуху. Након дужег складиштења или интензивнијег додира са водом, тај пасивни слој оксида се задебља, онемогућавајући рад контаката. Током 1960-их алуминијумски контакти су се користили у електричним прекидачима у грађевинским објектима, што је понекад доводило да због неодговарајућих спојева дође до кратких спојева или чак пожара. [3]



Слика 25. Алуминијумски проводник

6.2 Примена алуминијума и његових легура у аутомобилској индустрији

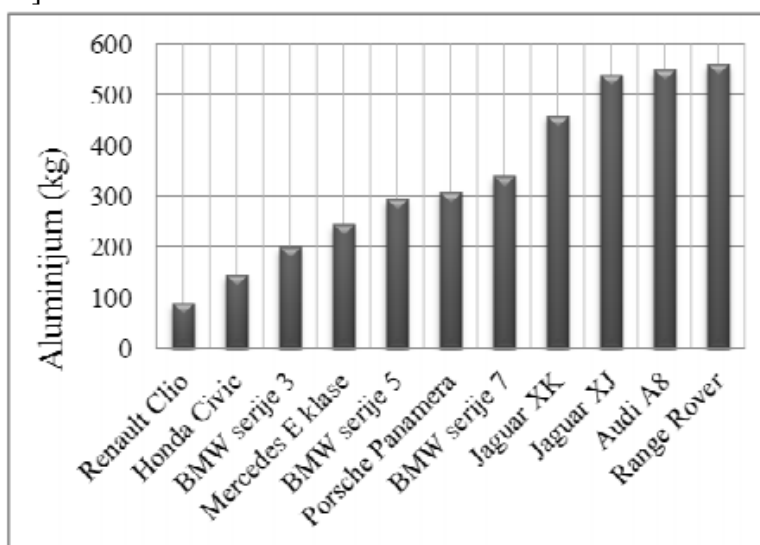
Алуминијум, као и остали лаки метали, не доприноси уштеди само у погледу масе возила. Приметна уштеда је и на самој цени производње, јер употреба алуминијума са собом доноси и примену технологија обраде које троше мање ресурса и енергије. Међутим, маса јесте главни разлог употребе ових материјала, јер се смањењем масе превозног средства видно побољшавају његове експлоатационе карактеристике.

На пример, легура Al-Mg1SiCu (ISO) се највише користи од свих легура за конструкцију каросерија, а њеном употребом остварује масена уштеда и до 300kg, са додатним побољшањем других карактеристика. Међутим, мало је произвођача који праве аутомобиле са алуминијумским шасијама, већ се алуминијум користи при изради неких других елемената као помоћни материјал. Смањење масе аутомобила, би требало да буде стандард, а не луксуз, јер од тога директно зависи квалитет вожње.

Маса аутомобила утиче на неколико фактора експлоатације:

- на возне карактеристике (на пример стартност),
- на заустављање (ово се јасно види у разликама кинетичке енергије која директно зависи од масе тела које се креће),
- на управљање (једна од битнијих ставки код управљања моторним возилом),
- ефикасност (што је већа маса празног возила, то су већи трошкови при већим теретима),
- безбедност (највећи проблем саобраћаја у свим земљама света, овај фактор је уско повезан са свим претходним и у великом броју ситуација зависи управо од масе возила).

Европска алуминијумска организација је спровела велики број истраживања везаних за употребу алуминијума у аутомобилској индустрији. При једном од тих истраживања, изабран је велики узорак аутомобила разних категорија како би се на најбољи начин утврдило у којим класама су остварене најмање уштеде а у којима највеће. Поред тога, сачињен је и график, приказан на слици 26, који приказује скраћену листу возила са највећом употребом алуминијума по маси при производњи новог примерка аутомобила. Аутомобил са тренутно највећим уделом алуминијума јесте *Land Rover*, са чак 561kg алуминијума. Производи се од 2013. и представља продукт веома доброг инжењеринга. [13]



Слика 26. Аутомобили са највећим уделом алуминијума [13]

6.2.1 Каросерија

Каросерија у укупној маси аутомобила износи 25 до 30% па су логични напори да се произведе из што лакшег материјала. Најчешће се прави од три конкурентна материјала:

- специјални челици,
- пластични материјали,
- алуминијум.

Алуминијум има две предности, а односе се на смањење масе и решење корозивних проблема. У квантитативном смислу, примена алуминијумских материјала у конструкцији каросерије, данас нема веће значење. Код неких типова аутомобила се алуминијумски материјали користе углавном за покретне делове каросерије, а не за комплетну шкољку. Примена алуминијумских материјала у те сврхе праћена је значајним учешћем иновација на постојећим конструкцијама и технологији израде. При том је био нужен прелаз са коришћења легура типа Al-Mg, које поседују оптимална својства обликовања екструдирањем, али са ограниченим механичким својствима, на легуре које се топлотно ојачавају. Оне поседују одличне механичке карактеристике, изврсна својства деформабилности, као и повишена антикорозиона својства (осим групе 2000).

Посебно је интересантна примена алуминијумских материјала за израду каросеријске надградње код друмских теретних возила и аутобуса. За надградњу киперских теретних возила због карактера терета и радних услова, морају се примењивати легуре високих механичких својстава уз задовољавајућа антикорозиона својства. То су легуре из групе AlZnMg. На слици 27 приказана је најсавременија каросерија аутобуса *Volvo* израђена од алуминијума и фибергласа.



Слика 27. Алуминијумска каросерија аутобуса.

6.2.2 Шасија и вешање

Садржај алуминијума у шасији варира између различитих модела. Такође, види се разлика у његовој употреби и на континенталном нивоу – око 10% је мањи у Америци и Азији у односу на Европу, где шасије садрже 40-45kg алуминијумских легура. Међутим, употреба ових материјала за израду шасија је у константном порасту, пре свега из естетских разлога.

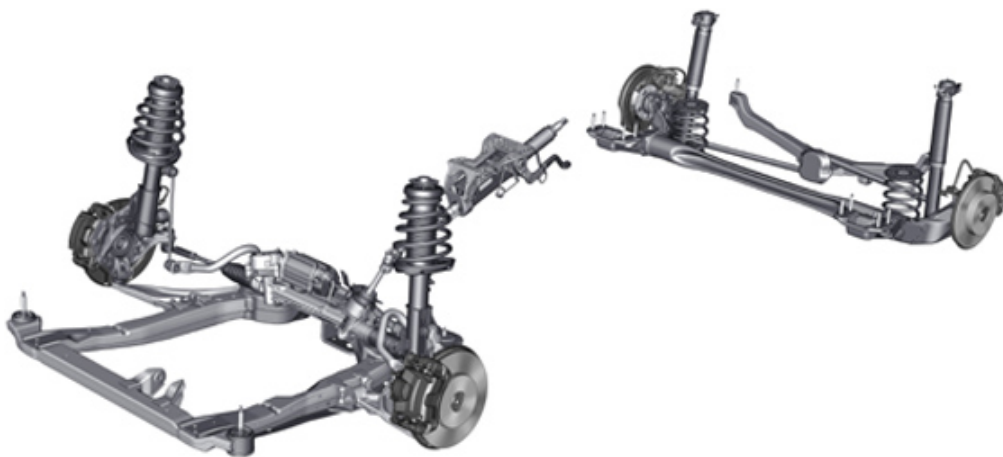
Са друге стране, ове компоненте играју, поред кочионог система, највећу улогу у активној безбедности аутомобила. Због овога је битно користити најквалитетније и најпоузданије легуре, што наравно утиче на цену производње самог аутомобила.

Шасија је, уопштено речено, костур сваког возила. Представља оквир који држи све делове аутомобила, од тела до погонског система. Од њеног квалитета зависи и ниво вибрација и буке, то јест ергономичност самог возила. Шасија раније поменутог модела налази се на слици 28.



Слика 28. Шасија "Land Rover"-а,

Систем вешања, приказан на слици 29, састоји се од система опруга, амортизера и везе возила са точковима, а улога му је да амортизује ударе на точковима. Такође остварује улогу добрих активних карактеристика кочења због безбедности и задовољства у вожњи. Вешање чини да возило буде удобно и комфортно, као и да има добру изолацију од буке друмског саобраћаја, удараца и вибрација.



Слика 29. Систем вешања код аутомобила

6.2.2.1. Подрамови

Једна од компонената вешања код које се користе алуминијум и његове легуре су подрамови. Њихова улога је ношење одређених делова возила, као што су погонски агрегат или осовине вешања. Осовина подрама мора бити стабилна да обезбеди одличан контакт са путем, али и такође лака да гарантује висок комфор за путнике, без обзира на површинске неравнине.

Осовине подрамова су веома интересантне компоненте за примену алуминијума. Правилно дизајниран алуминијумски модул показује потребну снагу и крутост за осовине подрамова. Такође, постоји могућност да се алуминијумски подрамови монтирају одвојено од остатка возила, олакшава њену интеграцију челичног или мешовитог материјалног тела. Ово је веома заступљено у мотоциклизму, а пример је представљен на слици 30. Много различитих лаганих дизајна подрамова развијени су користећи различите облике производа од алуминијума истискивањем и изливањем.



Слика 30. "Honda" мотоцикл са алуминијумским подрамом

6.2.3 Управљачки систем

Точак управљача (приказан на слици 31), у народу познатији као волан, је код аутомобила кружни елемент монтиран на стубу точка управљача од чворишта повезаног на спољном прстену са једном или више жица. Поред тога, ваздушни јастук за возача интегрисан је у управљачу. Надаље, електронске могућности постају све значајније. Тако је све више и више електронских тастера и функција које су интегрисане у волану. Новији развоји обухватају фиксна чворишта волана који нуде велике предности традиционалном волану, јер је чвориште фиксно, и садржи асиметрични ваздушни јастук дајући возачу побољшану заштиту. Он такође може да одржи велики број контрола које су више видљиве и лако доступне возачу.

У главном се точак управљача израђује као једна целина. Алуминијум или магнезијум се обично користи за рам волана. Ливени рам је затим преко обликован са флексибилном полиуретанском пеном. Додатни производни процеси укључују кожу, дрво и многе друге материјале.



Слика 31. Алуминијумско језгро точка управљача

6.2.4 Кочиони систем

Овај систем омогућава возачу да успори или заустави возило и омогућава стационарни положај возила. Неуспех аутомобилског кочионог система може довести до незгоде, физичких повреда или чак смрти појединца. У последњих неколико година, кочиони системи су претрпели промене у погледу перформанси, технологије, дизајна и безбедности. Данас је систем против блокирања точка (ABS) више или мање стандардан. Модерне ABS верзије не само да спречавају блокирање точкова при кочењу, већ и електронски контролишу кочење предњих и задњих кочица. Ова функција, у зависности од њених специфичних способности и имплементације, позната је као електронска расподела кочионе силе (EBD), контролом проклизавања, хитном помоћи при кочењу или електронски систем контроле стабилности.

Кочиони систем користи неколико алуминијумских компоненти, нарочито у хидрауличком систему. Неке од њих су: појачивач кочница, вентили, компоненте ABS система и кочиони клипови. Главни разлог коришћења алуминијума за ове компоненте јесте његова отпорност на корозију, односно спречавању зачепљења осетљивих хидрауличних система. Други важан разлог је лагани потенцијал алуминијума који је посебно важан за компоненте кочионог система које су повезане са воланом. Алуминијум је коришћен у различитим облицима, као што су стања екструдираних профила, као и отковака и одливака у зависности од врсте компоненти и преференције произвођача аутомобила.

Алуминијум је код ових компоненти постао стандардан материјал, а тек се очекује његова проширена примена у наредном периоду. Потенцијални простор за нове алуминијумске апликације су кочиони дискови и добоши. Ове компоненте су у главном направљене од ливеног гвожђа или челика. Алуминијумске легуре су релативно јаке и нуде одличну ударну жилавост. Алуминијумски дискови и добоши су такође лакши него гвоздени добоши, што би довело до значајног смањења тежине. Побољшана топлотна проводљивост такође спречава екстремне топлотне акумулације на површини диска или добоша, што може озбиљно да оштети плочице или да спречи да кочнице раде исправно.

Алуминијумски кочиони добоши често се користе код предњег точка. Да би се избегао прелиминарни неуспех због претераног хабања, алуминијумски кочиони добоши имају гвоздену или челичну чауру на унутрашњој површини добоша, везану или приковану за алуминијумски спољашњи омотач. Сличан приступ може да се користи код диск кочнице. Алуминијумски кочиони дискови приказани су на слици 32.



Слика 32. Алуминијумски кочиони дискови.

6.2.5 Точкови

Иако је челик, најчешћи материјал који се користи у производњи точкова, израз „легирани точак” обично је резервисан за точкове израђене од легура које у свом саставу не садрже гвожђе. Лакши точкови могу побољшати управљивост смањењем масе, омогућавајући бољу контролу и прецизније пријањање, међутим нису сви легурни точкови лакши од својих челичних еквивалената.

Боља проводљивост топлоте и отворенији дизајн точкова могу помоћи у одвођењу топлоте из кочница, што побољшава кочионе перформансе у захтевнијим условима вожње и смањује шансу за смањене перформансе кочница или чак квар услед прегревања.

Алу фелне се такође купују у козметичке сврхе. Легуре дозвољавају употребу атрактивних металних боја, али их треба покрити поклопцима точкова. Чак и ако су тако заштићени точкови ће евентуално почети да кородирају након 3 до 5 година, али обнављање је сада доступно по ниској цени.

Процеси производње такође омогућавају сложене, смеле дизајне. Супротно томе, челични точкови се обично пресују из делова а затим се заварују заједно (често остављајући естетски лоше неравнине) и морају се бојити да би се избегла корозија или сакрити поклопцима точкова.

Алуминијумски точкови су склони галванској корозији, што може проузроковати цурење ваздуха из гума ако се не предузму одговарајуће превентивне мере. Такође, алуминијумске точкове је теже поправити од челичних точкова када се савијају, али њихова виша цена обично поправке чини јефтинијим од замене.

Алуминијумске фелне су скупље у производњи од стандардних челичних точкова, па се стога често не укључују као стандардна опрема, већ се продају као опциони додаци или као део скупљег пакета опреме. Међутим, алуминијумски точкови су постали знатно чешћи од 2000. године, а сада се нуде и на економичним и субкомпактним аутомобилима, у поређењу са деценијом раније где алуминијумски точкови често нису били фабричка опција за јефтина возила. Фелне од лаких легура одавно су укључене у стандардну опрему луксузних или спортских аутомобила скупље цене, а опције су и веће или „ексклузивне“ алу фелне. Висока цена алуминијумских фелни чини их атрактивним за крађу; Да би се томе супротставили, произвођачи и продавци аутомобила често користе матице и вијке за закључавање којима је потребан специјални кључ за уклањање. Атрактивна алу фелна приказана је на слици 33.



Слика 33. Алуминијумска фелна

Главна предност ливених алуминијумских фелни је висок естетски ефекат и свестраност. Ливени точкови такође пружају високу тачност димензија и одговарајуће статичке, динамичке и механичке карактеристике. Важан разлог за избор ливених алуминијумских точкова је њихов атрактиван визуелни изглед. Смањење тежине у односу на челичне точкове је корист, али не често и главни циљ. Тако, у неким случајевима, тежина точкова од ливеног алуминијума је једнака или само незнатно мања од точкова стандардног челика без икаквих додатака.

Већина точкова од ливеног алуминијума произведени су под ниским притиском. Приликом ливења се користи релативно низак притисак (око 2 бара) да би се постигло врло брзо пуњење калупа и да се добије уједначена микроструктура, а то побољшава механичка својства у поређењу са гравитационим ливењем.

Већина алуминијумских точкова производи се ливењем, али неки су ковани. Ковани точкови су обично лакши, јачи, али много скупљи од ливених точкова. Постоје две врсте кованих точкова: једноделни и модуларни. Модуларни ковани точкови могу имати дводелни или троделни дизајн. Типични вишеделни точкови састоје се од унутрашње основе обода, спољне ивице обода и средишњег дела точкова са отворима за навртке. Сви делови модуларног точка се држе вијцима.

6.2.6 Клипови

Израђују се искључиво од еутектичких и надеутектичких легура са силицијумом. Разлог томе је чињеница да ове легуре поседују добра механичка својства на повишеним температурама уз мали коефицијент ширења, добро проводе топлоту и отпорне су на хабање. Највећи део клипова се израђује ливењем, док су клипови израђени пресовањем у калупу лакши за 20 до 25% уз изврсна својства отпорности. У случају израде клипова за дизел моторе пресовањем у калупу, неопходна је употреба легура са високим садржајем силицијума, а окарактерисане су високом отпорношћу на трошење.

Алуминијумске легуре су пожељни материјал за израду клипова како у бензинским, тако и у дизел моторима, и то све због због својих специфичних карактеристика: мале густине, високе топлотне проводљивости, једноставног обликовања (ливење и ковање), лаке обрадивости, високе поузданости и веома добре могућности за рециклажу.

У моторима за путничка возила, пречник алуминијумских клипова како се за бензинске, тако се и за дизел моторе креће обично између 65mm и 110mm.

За будући развој, нових алуминијумских материјала коришћењем нпр. производне методе металургије праха, или алуминијума базираног као метал матричних композита добијених различитим методама као и других лаганих материјала као што су легуре магнезијума, угљеника, и многих других. Међутим, у току побољшања постигнутих са ливеним и кованим алуминијумским легурама открива се да алуминијумски клипни материјали и даље нуде велики потенцијал за оптимизацију и да ће наставити да играју доминантну улогу у клипним материјалима у будућности.

6.2.7 Блок мотора

Најтежи и највећи појединачни део мотора са унутрашњим сагоревањем је управо његов блок. Реч је о комаду метала са мноштвом рупа, канала и отвора. Склапање мотора почиње управо од његовог блока.

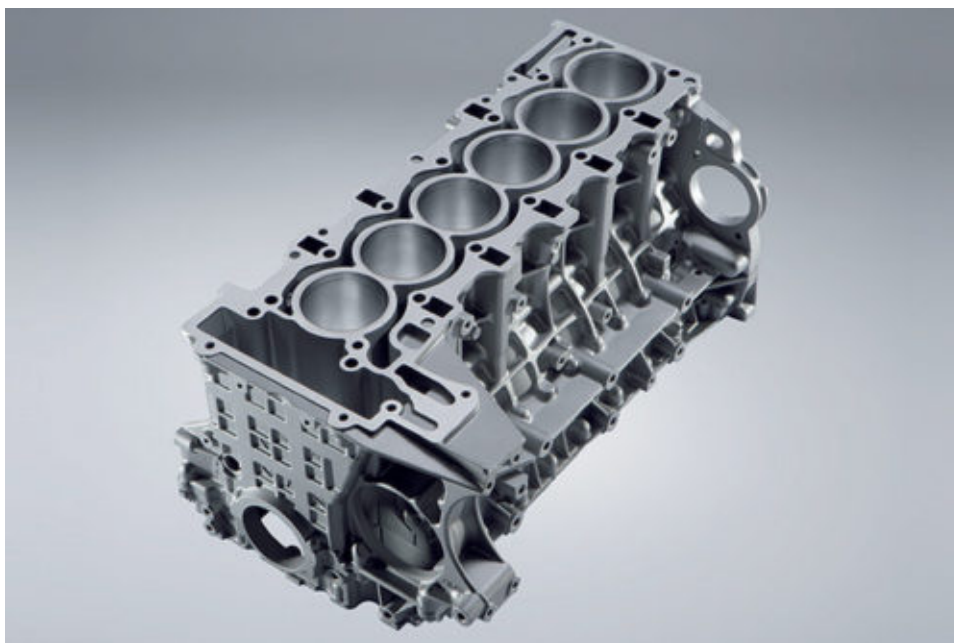
Блок мотора је на свој начин темељ конструкције самог мотора. Можда не толико својом конструкцијском комплексношћу, већ титулу основног дела блока заслужује с обзиром да су на њему причвршћени практично сви остали делови мотора.

У његовим цилиндрима тако ће се сместити клипови са клипњачама (или кошуљицама), у доњем делу блока налазе се лежишта за лежајеве коленастог вратила, испод свега је кућиште мотора, а на врху блока долази глава мотора.

Блокови мотора су данас готово по правилу, израђени од алуминијума, гвожђа (сиви лив) или легуре гвожђа и других метала, попут никла и хрома. Алуминијумски блок приказан је на слици 34. Свакако, све више мотора у данашњим аутомобилима има блок израђен од алуминијумских легура чија је основна предност у нижој маси. Уз то, алуминијум лакше проводи топлоту и такви се мотори могу и боље хладити. Мада, како се у дизел моторима јављају већа унутрашња оптерећења, блокови од сивог лива и данас су уобичајени, бар код дизел мотора мање запремине.

Како је већ споменуто, најзанимљивија варијација код блока мотора свакако је употреба алуминијумских легура. Осим споменутих предности мање масе и бољег (провођења) одвођења тоpline (у поређењу с блоковима од сивог лива) алуминијумски блокови имају и једну поприличну ману - малу тврдоћу.

Ипак, и ту има изузетака, инжињери решење налазе у употреби силицијума. Силицијумске су честице, наиме, врло тврде па их неки произвођачи убацују у легуру од којих се израђује блок. Након ливења, цилиндри таквог блока подвргавају се нагризању киселином којим се практично скида изузетно мали слој алуминијума с унутрашњости цилиндра остављајући тако тврда силиконска зрнца на површини. Клип тада може клизити преко тих зрнаца уз минималан отпор и трошење.



Слика 34. Алуминијумски блок мотора.

6.2.8 Глава мотора

Глава мотора (приказана на слици 35) је део мотора са унутрашњим сагоревањем који се налази на блоку, изнад цилиндра. Њоме се затварају цилиндри чиме се обликују коморе за сагоревање. Такође, глава мотора осигурава простор за пролаз усисних и издувних канала, а њена је улога и у смештају вентила, свећица, брызгалки горива, лежаче брегастих вратила и других делова мотора.

Главе мотора се све чешће израђују од легура алуминијума. Француске и италијанске компаније уграђују преко 80% глава мотора од алуминијума. За њима нешто заостају немачки и енглески брендови. У САД-у доминира ливено гвожђе, али присутни тренд указује да ће у будућности доћи до пораста примене алуминијумских материјала за израду главе мотора.

У случају главе мотора, предност алуминијума, осим у мањој маси и у високом коефицијенту топлотне проводљивости, омогућава високо тоplotно оптерећење. Код дизел мотора, такође су савладани проблеми везани за високе температуре и притиске везане са тоplotним замором, па се примена алуминијума за израду глава мотора сусреће све чешће. За бензинске motore примењују се бинарне легуре типа AlSi, као на пример AlSi9.

С обзиром на радне услове код дизел мотора, обавезна је примена легуре типа AlSiCu. Код њих се обавезно поставља захтев врло ситне и уједначене металографске структуре и потпуне одсутности микро и макро порозности.



Слика 35. Алуминијумска глава мотора.

У зависности од типа мотора, увођењем алуминијумске главе мотора остварује се смањење тежине 10-20kg (тј. најмање 50%). Али, чак и ако је блок мотора од ливеног гвожђа, глава мотора је обично направљена од алуминијума, јер омогућава брже одвођење топлоте у односу на сиви лив. Различите стопе тоplotног ширења између алуминијума и гвожђа стварају значајне нивое напона у региону интерфејса између блока и главе. Проблеми са компатибилношћу блока постају све мање значајни јер тржишни удео алуминијумских блокова стално расте.

6.2.9 Резервоар за гориво

Све велике светске компаније раде на осмишљавању сепецифичног система за смештај горива у циљу оптимизације коришћења расположивог простора. Штавише, за један модел аутомобила, развијају се различите архитектуре система за смештај горива, у зависности од типа аутомобила, типа горива (бензин или дизел), модела млазница итд.

Две технологије се користе за прављење резервоара горива за аутомобиле:

- Пластични резервоари за гориво од полиетилена високе густине (HDPE) направљени методом дувања. Ова технологија се све више користи и овакви резервоари могу да буду направљени у сложенијим облицима, омогућавајући резервоару да буде монтиран директно преко задње осовине, ради уштеде простора и побољшања безбедности приликом незгода. У почетку је било проблема због ниске жилавости HDPE при удару, у односу на челик или алуминијум. Таква брига за безбедност и дуготрајна способност функционисања, морају бити узете у обзир и надгледане, али до сада нису проузроковале веће проблеме.
- Метални резервоари за гориво. Иако је ова технологија веома добра, она тежи да буде мање конкурентна и самим тим није била у стању да уђе на тржиште за серијску производњу. Челични, а посебно значајно лакши алуминијумски резервоари горива (слика 36) се користе само за специјалне аутомобиле.



Слика 36. Алуминијумски резервоар уграђен на "олд-тајмеру"

6.2.10 Остале алуминијумске компоненте

Карбуратор је такође елемент који се у последње време производи од легура алуминијума. Први покушаји су били реализовани још педестих година прошлог века и били су израђени од легура из групе AlSi. Касније се прешло на легуре других типова, као на пример G-AlSi8 и Zn-Al.

Данас алуминијумске легуре имају скоро ексклузивну примену за израду поклопаца, картера и кутија. Поклопци и картери се у Европи израђују од алуминијумских легура у 80-100% случајева. Неке од легура које се користе су секундарног порекла и користе се углавном за технологију силе ливења.

Постоје многе паралеле између посуда за уље и поклопца главе мотора, гледано са технолошке стране. Главни захтеви обе компоненте су јачина, побољшана звучна изолациона својства, редуција тежине и могућа интеграција додатних функција. Као резултат његовог положаја на дну мотора, картер може бити предмет удара камена због чега мора бити у стању да буде отпоран на ударе. Алуминијумски картер приказан је на слици 37.



Слика 37. Алуминијумски картер.

Кућишта пумпи и разне друге компоненте за различите врсте пумпи које се користе у аутомобилској индустрији пожељно је да се праве од алуминијума. Кућишта алуминијумских пумпи се углавном производе ливењем под високим притиском. Функционалне компоненте пумпи могу бити од кованих или ливених легура алуминијума.

Данашњи мотори захтевају велике протоке уља. Пошто конвенционалне пумпе за уље не испуњавају ове услове под свим радним условима мотора, било је неопходно развити нове системе. Циљ је да се обезбеде пумпе које испуњавају све функционалне захтеве задржавајући максималну ефикасност и постизање и најмањих могућих губитака.

7. РЕЦИКЛИРАЊЕ АЛУМИНИЈУМА

Нуспродукт свих процеса производње али и процеса потрошње је отпад. На количину отпада у једној држави утиче однос броја становника и обима и врсте индустријских грана. Коришћењем одговарајућих оптималних механизма управљања рециклажом као и отпадом, могуће је извршити смањење отпада упркос стандардној индустријској активности. Најадекватније решење своди се на употребу материјала алуминијума, затим његовом рециклирању, као дела отпада, и поновне употребе рециклираних делова, сигурном одлагању нерациклираних делова, што доводи до смањења запремине, густине и карактеристике отпада. Развита поступка рециклаже алуминијума годинама је развијан, како би се достигао најпогоднији процес. Као резултат свега тога, добило се напредовање на пољу очувања животне средине.

Веома важан задатак је очување животне средине, које се своди на редовну контролу нивоа отпада. Тај задатак испуњава се на тај начин што се производња алуминијума своди на минимум и коригује се степен искоришћења отпада. Са те стане гледано, морају у обзир да дођу сви фактори животне средине, економски фактори, али и они који неће да доведу до нарушавања људских права.

Свака производња има одговарајући животни век. У свим фазама производње, долази до појаве отпада, па се као неизбежна ставка користи рециклирање, као део животне фазе материјала. Животни циклус производње састоји се из три ставке:

- Пројектовање и израда производа.
- Употреба производа.
- Уклањање дотрајалог производа.

Рециклирање током производње ствара минималне потешкоће, зато сто се сортирање и издвајање отпада за прераду врши на лицу места. Најчешће се отпад сакупља као секундарна сировина и одвози на прераду у фабрике које се баве производњом алуминијумских делова и полуфабриката.

Рециклирање током употребе односи се на отпад који настаје сервисирањем и одржавањем производа (замени дотрајалих делова). Најповољније решење са те тачке гледишта је поновна употреба дотрајалих делова за исту или различиту намену, са или без претходног обнављања. У том случају углавном долази до рециклаже алуминијумских делова и склопова. Код оклопних борбених средстава, могућа је употреба резервних делова возила без претходне регенерације. Примена оваквог поступка могућа је само ако се прикладно користе и чувају разни делови.

Поступак рециклирања алуминијума представља у ставри поступак поновног искоришћења и употреба одбаченог материјала за исте ствари или различите, при чему настаје секундарни алуминијум. Све више је ово кружни процес у природи. На слици 38 приказан је део процеса рециклаже алуминијума.

У свету главни концепт прераде познат је под називом 3R (Reduce-Reuse-Recycle) који потпуно описује принцип рециклаже алуминијума. Прво R (Reduce) односи се на смањење алуминијумског отпада, а то се спроводи на тај начин што се делови алуминијума за војно ваздухопловство, делови код борбених возила као и оруђа /оружја имати дужи век коришћења уз минимално коришћење енергије и сировине. Друго R (Reuse) представља поновну употребу делова од алуминијума или читавих склопова. То значи да се поједини склопови и делови возила могу користити као резервни делови. Треће R (Recycle) односи се на прераду делова од алуминијума, у полазне материјале, тачније у материјале од којих су првобитно направљени и њихово поновно стварање од тако насталог материјала. Тенденција је да концепт рециклирања алуминијума буде 5R који ће поред ова три поступка обухватити поступке пречишћавања материјала ради лакшег рециклирања и процес повраћаја енергије и отпада настао прерадом војних делова.

Поступак прераде делова, када претходно одради уклањање свих штетних састојака за животну средину, састоји се у прикупљању делова за рециклажу, транспортовању, сабијању, млевењу и дробљењу. Након ова два последња поступка врши се сепарација на металне и неметалне фрагмената, где се даље метални фрагменти сортирају на гвоздене, алуминијумске. [14]



Слика 38. Део процеса рециклаже алуминијума. [15]

8. ЗАКЉУЧАК

Већина карактеристика алуминијум чини изузетаним машинским материјалом и због тога има широку примену у свим областима индустрије. Скоро целокупна светска производња алуминијума почиње из руде боксита, из којег настаје алуминијум оксид који се даље експлоатише на разне начине, тако да се може користити чист алуминијум, мада ређе, или као легура.

Додатком легирајућих елемената, а најчешће мангана, магнезијума, силицијума и бакра, побољшавају се механичка својства овог машинског материјала. Добар је проводник, корозионо постојан, са одређеном чврстоћом и крутошћу која се повећава легирањем. По својој природи, висока корозиона постојаност је и у морској води, па је због тога незаменљив у многим конструкцијама пловила. Највећа предност алуминијума, његова мала маса, омогућила је широку употребу у изради делова превозних средстава у сва три вида саобраћаја (воденом, копненом и ваздушном). Ова употреба је у све већем порасту и код најраспрострањенијих - путничких аутомобила.

Погодност алуминијума за рециклажу је такође веома велика предност, јер омогућава да алуминијум кружи изнова у производном процесу као секундарна сировина, што доприноси економији и има огроман утицај на очување енергетских ресурса и животне средине.

На крају, треба поменути и недостатке алуминијума. Иако их нема много, једна од главних потешкоћа у експлоатацији овог материјала је свакако његова цена која је још увек видно изнад цене челика и разних пластичних маса који су због тога и заступљенији. Међутим, знајући да је у почетку овај материјал био скупљи од самог злата, може се поуздано рећи да ће и овај проблем у будућности бити превазиђен и ће алуминијум и његове легуре бити још више присутне у свакодневним производима.

9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] М. Јовановић, Д. Адамовић, В. Лазић, Н. Ратковић: Машински материјали, Крагујевац 2003; 30.09.2020.
- [2] Ђукић В.: Машински материјали, Крагујевац, 1994; 30.09.2020.
- [3] <https://sr.wikipedia.org/sr/Алуминијум>; 30.09.2020.
- [4] <https://sr.wikipedia.org/Боксит>; 30.09.2020.
- [5] <https://bg.wikipedia.org/wiki/Нефелин>; 30.09.2020.
- [6] <https://en.wikipedia.org/wiki/Alunite>; 30.09.2020.
- [7] <https://en.wikipedia.org/wiki/Kaolinite>; 30.09.2020.
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/Hall–Hérault_process 01.10.2020.
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/Bayer_process; 01.10.2020.
- [10] <https://velikirecnik.com/2017/10/18/pasivizacija/> 01.10.2020.
- [11] <http://www.sraspopovic.com/sa%20prve%20strane/Baza20znanja%20metalurgija.htm>; 01.10.2020.
- [12] <https://en.wikipedia.org/wiki/Duralumin> 01.10.2020.
- [13] Impact of Vehicle Weight Reduction on Fuel Economy for Various Vehicle Architectures 01.10.2020.
- [14] https://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_recycling 01.10.2020.
- [15] <http://alupress.rs/istrazujemo/item/252-reciklaza-aluminijuma> 01.10.2020.