

**Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Војна академија Универзитета одбране у Београду**



**Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство
Ниво студија: Основне академске студије
Модул: Наоружање
Предмет: Машински материјали
Број индекса: 524/2012**

Милена В. Јоксимовић

ПРИМЕНА АЛУМИНИЈУМА У ВОЈНОЈ ИНДУСТРИЈИ
Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Нада Ратковић – ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____
Оцена: _____

У оквиру овог рада кандидат треба да опише алуминијум као метал, у општем смислу, са физичког, хемијског, металрушког и механичког аспекта, а такође и као материјал који има широк спектар примене посебно у војној индустрији. Треба да наведе основне карактеристике алуминијума, сировине, као и поступке за добијање алуминијума.

Тakoђе кандидат треба да наброји основне типове легура алуминијума. Затим начине прераде алуминијума, тј. поступке ливења и обрада деформисањем.

Препоручена литература:

- [1] М. Јовановић, Д. Адамовић, В. Лазић, Н. Ратковић: Машински материјали, Крагујевац 2003
- [2] Професор пук. др. М. Цветковић, професор пук. Др Б. Перме: Конструкција оруђа и оружја, Београд 2001

Крагујевац, септембар 2017.

Ментор:
др Нада Ратковић, доцент

Резиме

Тема завршног рада је примена алуминијума у војној индустрији. Ова тема обухвата својства алуминијума и његових легура, погодност његове примене у војсци тачније код средстава наоружања и војног ваздухопловства. У раду су описане руде за добијање алуминијум, карактеристике алуминијума, његова корозиона постојаност, начин обрадљивости као и могућност примене у састав елемената конструкција за војне сврхе.

Кључне речи: Алуминијум, легуре алуминијума, наоружање, војно ваздухопловство, војна индустрија

Abstract

The topic of the final paper is the application of aluminum in the military industry. This topic will include the properties of aluminum and its alloys, the convenience of its application in the military more precisely with weapons and military aviation. The starting ores for the production of aluminum, aluminum properties, its corrosion resistance, the way of workability and the possibility of entering into the structure of structural elements for military purposes will be described.

Keywords: aluminum, aluminum alloys, weapons, military aviation, military industry

САДРЖАЈ

1. Увод.....	1
2. Полазне сировине и технолошки поступци добијања алуминијума.....	2
2.1 Полазне сировине за добијање алуминијума	2
2.1.1 Боксит.....	2
2.1.2 Нефелини	5
2.1.3 Алунити.....	5
2.1.4 Каолини.....	5
2.2 Поступци добијања алуминијума	6
2.2.1 Поступак добијања алуминијума електролизом-Хал-Херултов процес	6
2.2.2. Бајеров поступак	7
3. Основна 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 проводљивост.....	10
3.1.7. Електрична проводљивост	10
3.1.8. Рефлексија и емисија	10
3.2. Хемијска својства алуминијума	12
3.3. Геохемијска својства алуминијума	12
3.4. Механичка својства алуминијума	12
3.5. Корозиона постојаност алуминијума.....	13
4. Легуре алуминијума.....	15
4.1 Примена фамилија легура алуминијума са Mn, Mg, Si, Zn и Cu	16
4.1.1 Легуре са манганом.....	17
4.1.2 Легуре са магнезијумом	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 деформацијом	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	27
5.	Технолошка својства алуминијума- методе обрадљивости.....	30
5.1	Обрада алуминијума и његових легура ливењем	30
5.2	Обрада алуминијума пластичном деформацијом.....	30
5.3	Поступак заваривања алуминијума	31
5.3.1	Захтеви за заварљивост и заварене спојеве	32
6.	Примена алуминијума у војној индустрији.....	33
6.1.	Легуре алуминијума у војном ваздухопловству	35
6.1.1	Труп војног авиона	36
6.1.2	Крила војног авиона	40
6.2.	Оклопна борбена средства.....	45
6.2.1.	Примена легура алуминијума код оклопних борбених средстава	47
6.3.	Примена легура алуминијума код оруђа и оружја	48
6.4	Примена алуминијума код војних мостова.....	51
7.	Рециклажа алуминијума	52
8.	Закључак	54
9.	Литература.....	55

1. УВОД

Алуминијум представља хемијски елемент периодне групе елемената са симболима Al и атомским бројем 13. У групи периодног система елемената спада у метале III главне групе тачније групе, некада зване групе земних метала. Трећи је најзаступљенији елемент и најчешће распрострањен у Земљиној кори. Сребркасто бели лаки метал са густином око $2,7\text{g/cm}^3$, лакши је од гвожђа три пута, који се не налази слободан у природи. Распрострањеност овог метала је у облику оксида помешаног са оксидима других елемената као што су гвожђе, силицијум, титан и други.

Ханс Кристијан Естед (1777-1851), дански физичар и хемичар први је изоловао алуминијумов оксид 1809. године и тај оксид је назвао "алуминум", како се и данас зове у Северној Америци. Поступак издвајања овог оксида у то време био је јако скуп, тако да је алуминијум сматран полу-драгоценим металом. Једињења овог метала су драго камење сафир и рубин, тако да је на изложби у Паризу 1855. Године овај метал представљен као "сребро из глине".

Даљим проучавањем овог метала посветио се Чарлс Мартин Хол 1866. године који је открио економичан начин добијања алуминијума који се и данас користи. 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.

Алуминијумов оксид присутан је у свим минералима. Једина руда из које је могуће вршити економичну експлоатацију алуминијума је боксит. Велики афинитет овог метала је према кисеонику па се користи у процесу добијању метала из његових руда. Има могућност да истисне метал који желимо да добијемо и веже се са кисеоником. Такав поступак добијања метала је алмунотермија.

Алуминијум се много користи за добијање легура, легирањем различитим елементима, који доводе до повећања чврстоће и неких јединствених својства алуминијума као 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. Са свим овим погодностима, његова примена је искоришћена до максимума како у аутомобилској, тако и у грађевинској индустрији. Због своје нетоксичности овај елемент нашао је примену и у изради посуђа. Користи се и за пречишћавање отпадних и других вода. Густина, економска повољност, жилавост и висока термичка издржљивост главни су разлози његове широке примене у војној индустрији на којој ћемо се базирати у наставку рада. [5].

2. ПОЛАЗНЕ СИРОВИНЕ И ТЕХНОЛОШКИ ПОСТУПЦИ ДОБИЈАЊА АЛУМИНИЈУМА

2.1 Полазне сировине за добијање алуминијума

Као што је већ напоменуто алуминијум се не налази слободан у природи. Његова заступљеност је присутна у великом броју руда, где се применом различитих поступака издваја алуминијум.

Руда алуминијума, која се првенствено користи за добијање глинице тј. чистог алуминијума, мора да буде природна сировина која задовољава следеће услове:

- Висок садржај алуминијум оксида да би се омогућила прерада по ниској цени.
- Да алуминијум оксид буде у стању који приликом прераде омогућава издвајање у чистом облику.
- Присутност у природи великих рудних тела, односно лежишта.

На основу ових услова, поређане су руде за добијање алуминијума. Најприступачнија руда која испуњава скоро све услове је боксит, затим нефелини, алунати, каолини и глине. [3]

Заступљеност алуминијума је и у минералима, и то најчешће у минералима из групе алумосиликата. [5]

2.1.1 Боксит

Боксит је најважнија и најраспрострањенија руда алуминијума из које се добија целокупна светска производња глинице. Боксит је први пут нађен у Француској код места Les Baux. По свом саставу боксит је сложена полукомпонентна сировина, претежно састављена од алуминијумових хидроксида, али поред тога садржи и силицијум диоксид, као и оксиде и хидроксиде гвожђа. 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 (слика 1.). [6]



Слика 1. Боксит и глиница [6]

Уз помоћ Бауеровог поступка за добијање глинице, сматра се да је боксит са модулом 10 квалитетан, са модулом од 8-10 таквог квалитета да се може прерађивати док са модулом испод 8 лошег квалитета чија прерада није економски оправдана.

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 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$,
- Дијаспор $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Поред ових минерала алуминијум се у бокситу, у мањој мери може налазити у виду корунда Al_2O_3 и различитих алумо- силиката. [6]

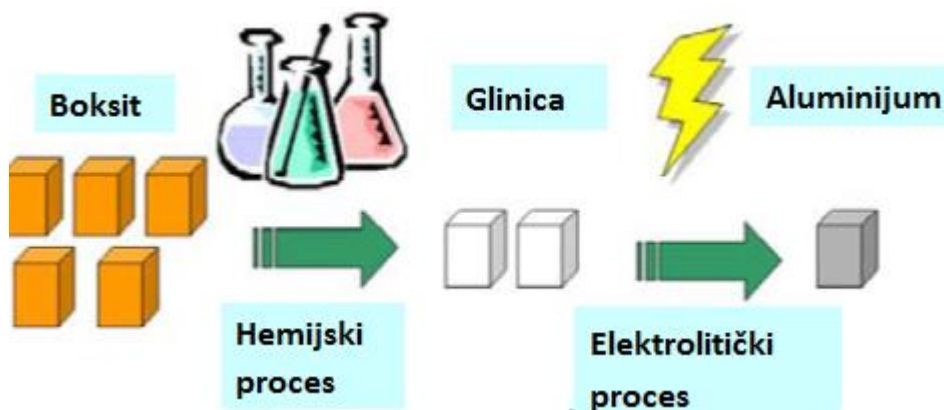
Постоји различите врсте боксита. Боксит може бити:

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,
 - Каолинитско-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.

Упрошћена шема (слика 2) добијања алуминијума из боксита се састоји се из неколико главних операција:

- Млевење и печење боксита.
- Растварање у натријумхидроксиду у аутоклавима при чему се добија лужина натријумалуминат.
- Добивање бистре лужине и ослобађање од јаловине.

- Добијање и топљење скоро чисте глинице (Al_2O_3) са криолитом.
- Електролизе растопа са издвајањем металног алуминијума у течном стању. Течни алуминијум се затим претапа у графитним лонцима и лије. [3]



Слика 2. Шема добијања алуминијума из боксита [1]

За добијање технички чистог алуминијума састав боксита варира у распонима

- Оксиди алуминијума (Al_2O_3) од 55 до 65%
- Оксиди гвожђа (Fe_2O_3) до 28%
- Оксид силицијума (SiO_2) до 7%
- Оксид титана (TiO_2) до 4%
- Губитак загревањем од 12 до 30%. [3]

Налазиште ових руда најзаступљеније је у Аустралији чак у 39%. Највећа лежишта са високом концентрацијом алуминијум оксида се експлоатише у рејону Веипа који лежи на Карпентаријском заливу, а мање у рејону Перт. У Босни и Херцеговини налазе се изузетно велике количине боксита. Неке процене говоре да резерве боксита у Босни износе око 30 милиона тона и то највише има у близини Милића, Босанске Крупе (слика 3.), Јајца и Сребреници, док у Босни код Мостара и Љубушког. [7]



Слика 3. Налазиште боксита у Босанској Крупи [7].

2.1.2 Нефелини

Име Нефелин потиче из грчке речи "Нефели", што значи облак. Застарео назив је **елеолит**. По значају друга руда алуминијума, од које се комплексном прерадом у индустријском обиму производи глиница. 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. Интересантно је код ових руда да тамне приликом урањања у киселину (слика 4).



Слика 4. Нефелин тамне боје (контакт са киселином) [8]

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. [8]

2.1.3 Алунити

Алунити су интересантне полиметаличне сировине чијом се прерадом могу добити глиница 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. [9]

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. [10]

2.2 Поступци добијања алуминијума

Да би се добио алуминијум из напоменутих руда потребно је применити одређене поступке. Од давнина је примену нашао поступак електролизе. Данас је мање заступљен због напредка саме технологије и развитка базних поступака који се данас примењују за преко 95% укупне производње глинице у свету. Најзначајнији поступци производње алуминијума су :

- Поступак добијања алуминијума електролизом применом Хал-Хупертове ћелије А од базних:

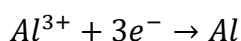
- Хидро-метарлушки (Бајеров поступак)
- Суви –алкални (Синтеров поступак)

Заједничко својство ова два поступка своди се 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. [11]

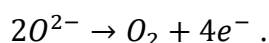
2.2.1 Поступак добијања алуминијума електролизом-Хал-Херултов процес

Електролизом се добија метални алуминијум, а сам процес добијања назива се Хал-Хероултов процес . За сам процес користи се Хал- Херултова ћелија у којој се као електролит користи растопљени криолит Na_3AlF_6 који снижава тачку топљења на око 950°C . Јачина електричне струје при процесу је око 150.000 А, а напон је око 5 V.

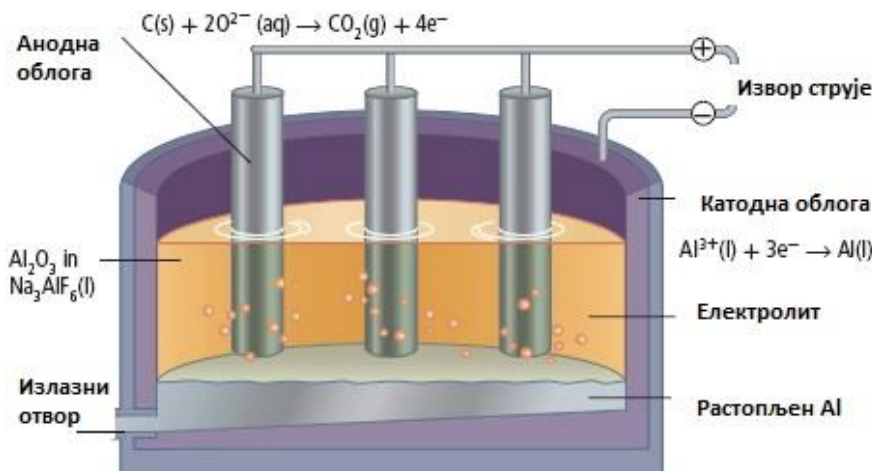
Реакције на катоди:



Реакције на аноди:



Катоде које су израђене од угља у процесу најчешће реагују са кисеоником и и флуором из криолита. Тако настаје одређена количина гасова CO и CO_2 као и гасовита једињења са флуором која придоносе ефекту стаклене баште. Да би из добијеног алуминијума испариле примесе силицијума, титанијума, бакра и цинка, потребно је да се држи неколико сати на високој температури. Највећа чистоћа добија се електричном рафинацијом (99,99%). Тако добијени алуминијум је мекан и кован, а чврстоћа му се може повећати механичком обрадом. На слици 5. приказан је поступак електролизе. [11]



Слика 5. Процес добијања алуминијума електролизом [11]

2.2.2. Бајеров поступак

Хидрометилушки поступак тачније Бајеров поступак најзаступљенији је у индустријском свету за производњу глинице. Овим поступком производи се око 90% глинице у свету. Заступљеност овог поступка преко 100 година у индустријској производњи, говори о томе да се још увек могу наћи велике количине квалитетних, нискосилицијалних боксита. За прераду таквих боксита, Бајеров поступак је најекономичнији, једноставан и омогућава производњу глинице високог квалитета. Сам поступак је развио аустријски хемичар Карл Јосиф Бајер у периоду између 1887-1892 године. Временом сам поступак је напредовао, усавршен је и доведен до високог техничког нивоа.

Сам поступак се састоји у томе да се најпре боксит подвргава припреми која се састоји у хомогенизацији његовог састава, дробљењу, млевењу и класирању. 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. Разблаживање пулпе врши се 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 клацинише на температури око 1400 K, 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 је 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 SiO_2 у границама 5 – 8%. [8]

Сви ови поступци представљају добијање примарног алуминијума из боксита и осталих руда. Секундарни алуминијум 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 18000 kWh/t, док код добијања из отпадака у просеку од 3 до 5000 kWh/t.

За добијање легура првенствено се користи секундарни алуминијум, јер се у савременим топионичким постројењима потпуно равноправно производи као и из примарног алуминијума. Када се 70 до 75% примарног алуминијума, који је у саставу потрошне робе, након употребе те робе, може се поново искористити као секундарни алуминијум. Из овог су издвојени алуминијумски производи као: прах, гранулат, наноси (боје) и редукцијска средства. [11]

3. ОСНОВНА СВОЈСТВА АЛУМИНИЈУМА

Технички чист алуминијум

Добра проводљивост електричне струје главно својство технички чистог алуминијума. Алуминијумске жице служе за пренос електричне струје на далеководима или на ниско напонској мрежи. С обзиром на малу јачину жица од чистог алуминијума, за далеководе се углавном користе комбинована челично-алуминијумска ужад. Јачина челичне жице достиже 1200 *MPa*.

Главна карактеристика алуминијума је добра топлотна проводљивост као и знатна отпорност на деловање хемикалија и животних намерница, што је омогућило његову знатну примену у хемијској и прехрамбеној индустрији, као и у домаћинству. Користи се још и као дезоксидатор у металургији челика и као састојак мешавине за термитно завривање. 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, док 35% иде у полупроизводе. У наставку ће бити речи о својствима технички чистог алуминијума и његовим својствима. [1]

3.1 Физичка својства алуминијума

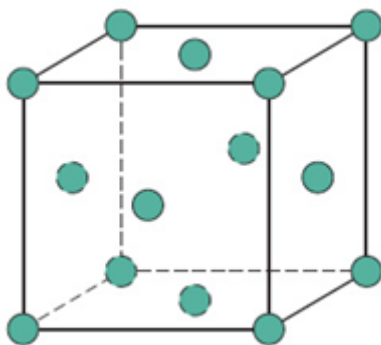
Алуминијум је метал сребрнасто беле боје са површински центрираном кубном решетком. Један је од лако топљивих метала ($T_t=661^\circ C$) са последицом која се јавља у оквиру кристалне решетке где нису сви атоми потпуно јонизовани и у образовању металне везе не учествују сва три спољашња електрона. Алуминијум јако тешко прелази у гасовито стање, иако се лако топи. Његова температура кључања јако је висока ($T_{klju\check{c}.}=2519^0\ C$). Лак је и мек метал са густином $\rho=2,69\ g/cm^3$, због тога је погодан за извлачење у танке фолије и жице. Добро проводи струју и 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. То значи да у спољашњој орбити има три електрона који омогућавају ступање у хемијске реакције. [1]

3.1.3 Кристална структура

Промена метала из течног у чврсто стање представља процес кристализације. Атоми се организују тако да формирају симетричне облике у виду мрежне структуре. Та мрежна микроструктура представља кристалну решетку. Код алуминијума заступљена је површински центрирана кубна решетка.



Слика 6. Површински центрирана кубна решетка [1]

3.1.4 Густина

Густина алуминијума је таква да чини $1/3$ густине бакра и челика што га чини једним од најлакших комерцијалних метала. Висок однос јачине и тежине чине га веома важним структурним металом који утиче на целокупну масу производа која у одређеном тренутку захтева мању тежину. Зато је примена алуминијума у војсци знатно изражена. Код наоружања као и код артиљерије јако је битно олакшати конструкцију оружја/оруђа а задржати борбену моћ. [3]

3.1.5 Јачина

Технички чист алуминијум нема велику чврстоћу. Знатно побољшавање јачине, до задовољавајућег нивоа, је 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 чврстоћа истезања се повећава при чему задржава своју жилавост. [3]

3.1.6 Топлотна проводљивост

Топлотна проводљивост алуминијума је три пут већа него код челика. Топлотна проводљивост износи око $200 \text{ Wm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Један је од веома важних материјала у производњи грејних и расхладних уређаја као што су размењивачи топлоте. Пошто је материјал неотрован, примена за производњу кухињског посуђа је на самом врху. [3]

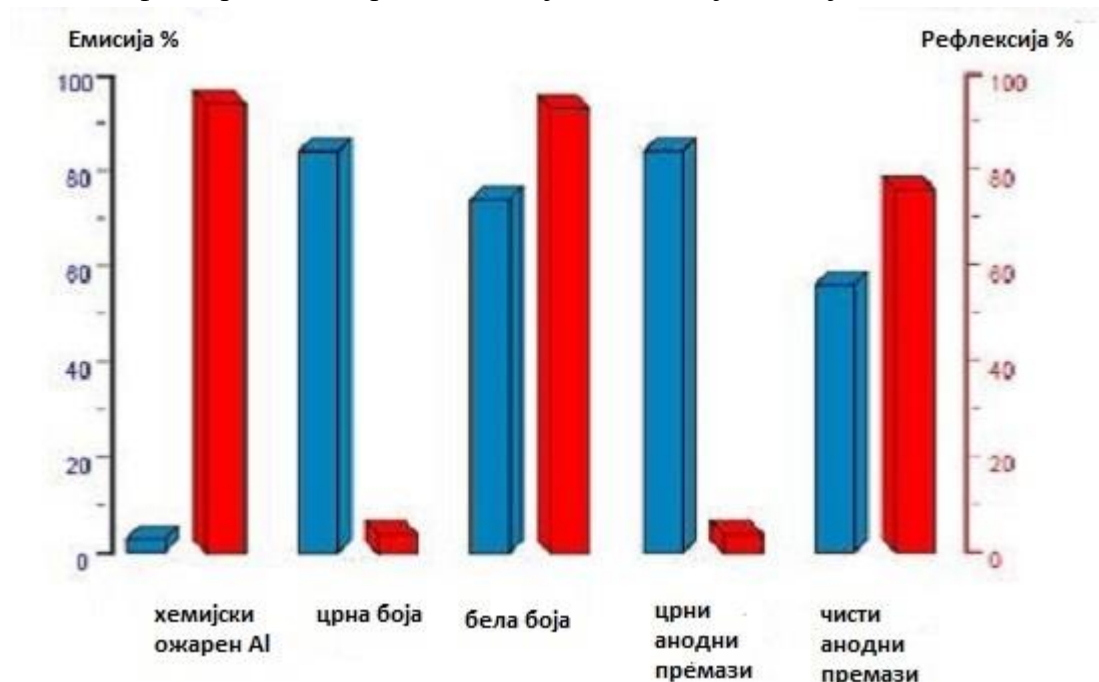
3.1.7. Електрична проводљивост

У комбинацији са баком, алуминијум даје одличну електричну проводљивост, довољну да се користи као електрични проводник. Иако је проводљивост најчешће коришћених легура (1350) само 62% жареног бакра, он је само $1/3$ његове масе и зато може проводити два пута више електрицитета у поређењу са баком исте тежине. [3]

3.1.8. Рефлексија и емисија

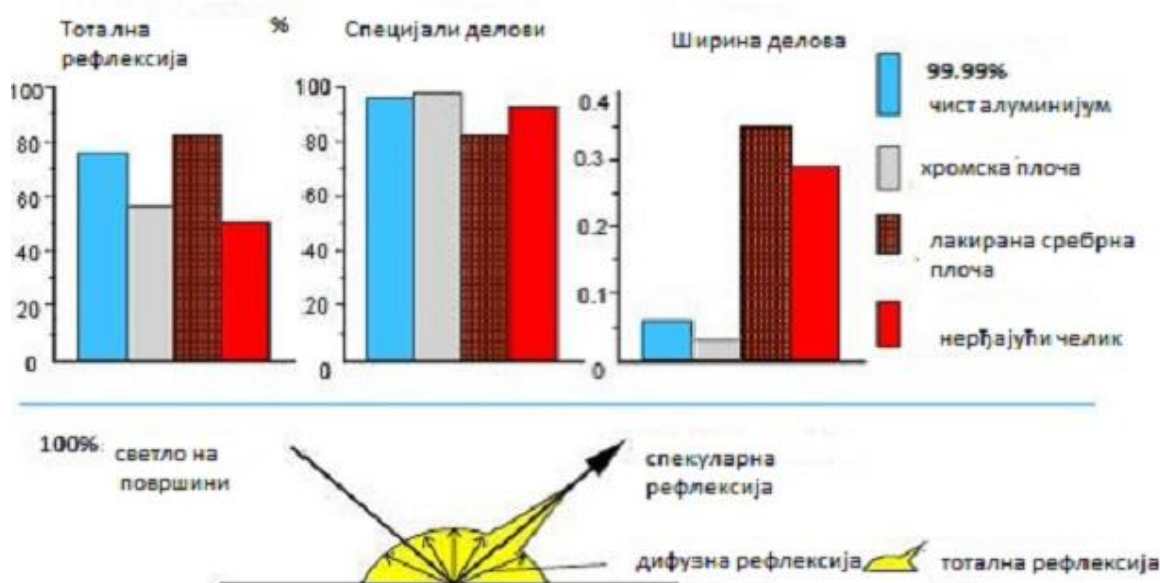
Емисивност представља лакоћу са којом нека супстанца зрачи сопствену топлотну енергију. Ова појава блиска је са рефлексијом. Чист алуминијум рефлектује око 75% светлости и 90% од топлоте зрачења приликом пада на алуминијум. Са таквим својствима при којем има високу рефлексију и ниску емисију доводи до 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 хроме 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 7. види се ефекат разних површина на којима се одвија емисија. [3]



Слика 7. 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 3 μ m дати потпуну рефлексију, већу од 84%, а спекуларна рефлексија (оштрина слике у огледалу) више од 99%, као што је приказано на слици 8.



Слика 8. Компарација рефлексије разноврсних метала[3]

3.2. Хемијска својства алуминијума

Хемијска својства алуминијума и реакције са другим елементима су следеће:

- Овај елемент у реакцији са кључалом водом издваја водоник где прелази у алуминијум хидроксид.
- Врло 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.

Велика реакција овог елемента је са простим и сложеним супстанцама. Индиректно даје једињења са водоником-хидриде који су полимерна једињења састава $(AlH_3)_n$. 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 Al +3) и монохалогениде (оксидациони број +1).

Велики афинитет овај елемент има према кисеонику, а на ваздуху, 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 интерним. Када дође до уклањања ове опне, алуминијум постаје хемијски активни елемент.

Облику алуминијум(III) - оксида (Al_2O_3) могућ је аморфни и кристални са две кристалне модификације (α и γ), где је α стабилна модификација присутна у природи у облику минерала корунда. Када се са хемијске стране посматра овај облик алуминијум (III) – оксид је амфотерних карактеристика.

Добијање алуминијум (III) – хидроксида је индиректним путем (реакцијом 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. Загревањем ципсита долази до реакције:

$Al(OH)_3 \xrightarrow{200\text{ }^\circ\text{C}} H_2O + AlOOH$ при којој настаје алуминијум (III) - оксихидроксид који се такође као минерал (бемит или дијаспор) налази у природи. [3]

3.3. Геохемијска својства алуминијума

Алуминијум припада групама литофилних и оксифилних елемената. Кларк алуминијума налази се у Земљиној кори и износи око 8,05%, тј. ставља га на треће место по самој заступљености, одмах после силицијума и кисеоника. Гради врло стабилна хемијска једињења. Улази у састав минерала глина, који настају као продукти распадања алумосиликатних минерала (фелдспата, лискуна и других). Његово присуство је и у силикатним минералима као и минералима из групе оксида и хидроксида: хидрагилит, бемит, дијаспор, спинели, корунди и др. [3]

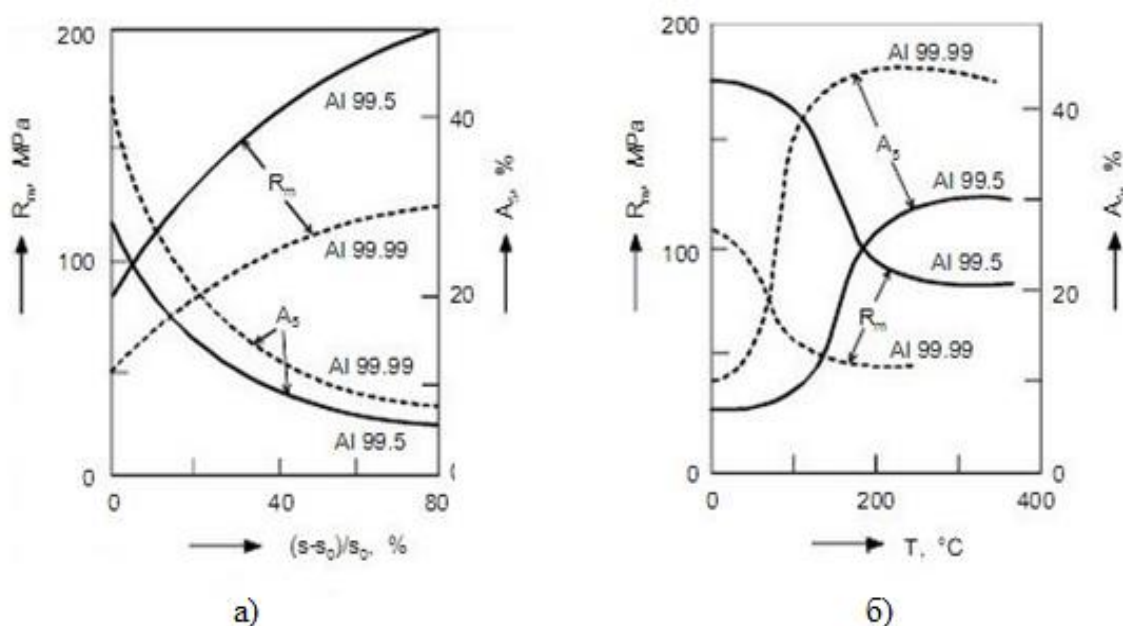
3.4. Механичка својства алуминијума

Главна предност механичких својства овог елемента је у томе што може да поднесе велике деформације без постојања трајне грешке. То омогућава прераду овог елемента ваљањем, извлачењем, вучењем, машински и механички на разне начине. Обликовање је могуће до високих граница толеранције. Јачина истезања код чистог алуминијума је око 90MPa, мада могућност повећавања је и до 690MPa на неким топлотно-третираним легурама.

Ниска су механичка својстава алуминијума; R_m у зависности од прераде се креће од 90-180 MPa, а тврдоћа од 20-40 HB, а пластичност је веома висока што омогућава ваљање алуминијума до веома малих дебљина.

Технички чист алуминијум има ниску јачину, али се она може повећати прерадом на хладно. На слици 9.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 9.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 до 400° С. Прерада алуминијума на топло, одвија се на температури вишој од температуре рекристализације. [1]

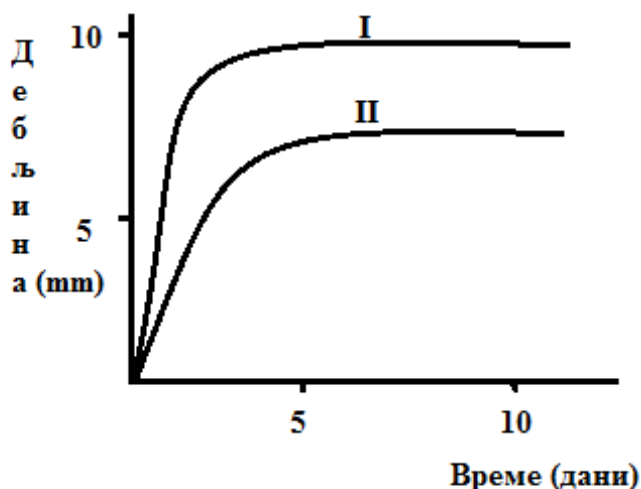


Слика 9. Промена јачине R_m и истегљивости $A_{5,65}$ технички чистог алуминијума :а) у зависности од степена прераде на хладно $(s-s_0)/s_0$, б) у зависности од температуре рекристализационог жарења $(s-s_0)/s_0 = 50\%$, време жарења 1h [1]

3.5. Корозиона постојаност алуминијума

Алуминијум је елемент који има добра корозиона својства. Постојан је у многим срединама јер има могућност пасивирања, 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 узорцима алуминијума различите чврстоће дат је на слици 10.



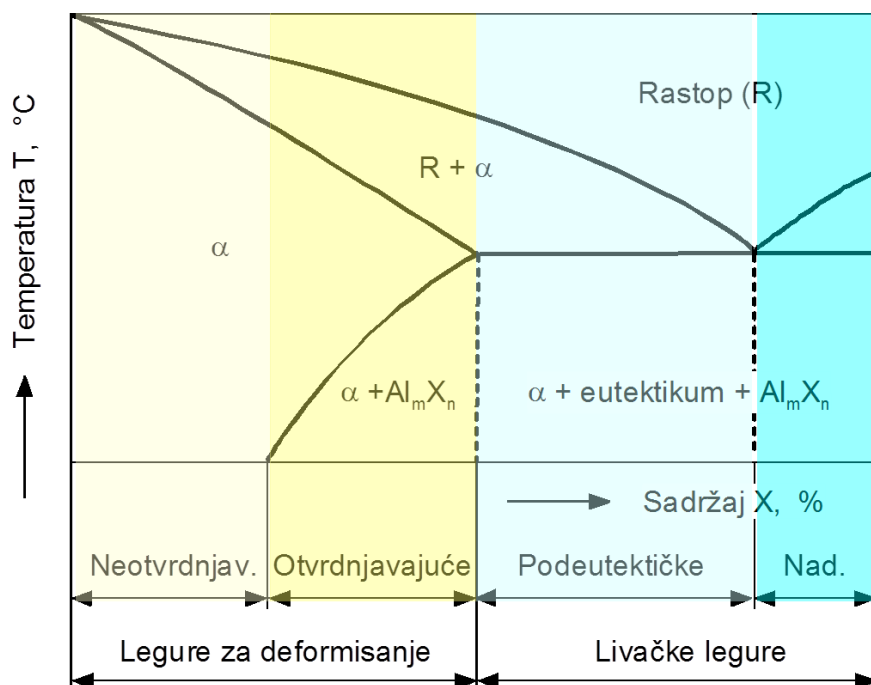
Слика 10. Раст оксидног слоја на алуминијуму у контакту са ваздухом
I-алуминијум чистоће 99,60% ; II-алуминијум чистоће 99,98% [4]

Алуминијум је поред атмосфере стабилан и у води, као и неким много слабир 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. Раставра 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 примењују као конструкциони метали. 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. [4]

4. ЛЕГУРЕ АЛУМИНИЈУМА

Како би се алуминијуму поправила механичка и технолошка својства (пластичност и ливкост) врши се легирање са различитим елементима (Si , Cu , Mg , Mn , $Zn...$). У површинској централној кубној решетки већина ових елемената гради ограничене чврсте растворе, а вишак који се јави гради са алуминијумом хемијска једињења и при већем садржају еутектичке мешавине. Посматрањем равнотежног дијаграма погодно је увидети предност легура алуминијума и њихову примена у индустрији. На слици 11 приказана је шема бинарног равнотежног дијаграма. Са дијаграма (слика 11) се види да хомогене легуре или легуре које се загревају могу се превести у хомогено стање (α -фаза; слика 11), 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 11. Бинарни равнотежни дијаграм Al-X [1]

Легуре алуминијума се могу поделити према:

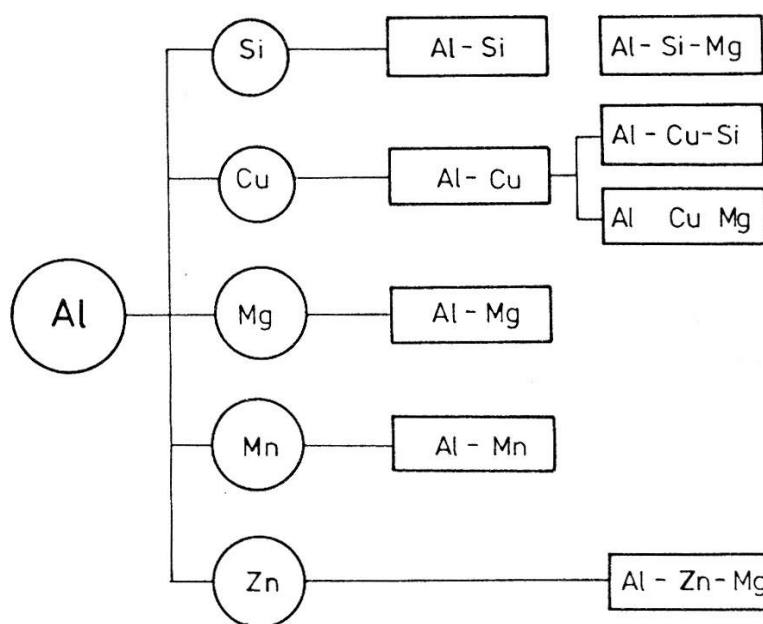
- **Начину технолошке прераде:**
 - Легуре за деформисање.
 - Легуре за ливење.
- **Броју главних додатих елемената:**
 - Двојне
 - Тројне
 - Сложене

4.1 Примена фамилија легура алуминијума са Mn, Mg, Si, Zn и Cu

Примена ових легура широко је распрострањена у индустрији, како војној, тако у аутомобилској, авио и сл. индустрији. У табели 1. дат је приказ легура и њихов хемијски састав, док је на слици 12 приказано формирање легуре са овим елементима.

Табела 1. Врсте легура алуминијума и њихов хемијски састав [12]

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 12. Формирање легура алуминијума са легирајућим елементима Si, Cu, Mg, Mn, Zn [1]

4.1.1 Легуре са манганом

Легура са изврсном пластичношћу и доброј отпорности при атмосферским условима са лако заварљивошћу. Употребљава се за дубоко извлачење, за измењиваче топлоте и слично. Најчешће се употребљава *AlMgMn* уз помоћ које се праве конзерве за пиће. Легуре алуминијума са манганом и силицијумом, намењене су за обраду деформисањем и термички се не обрађују.

4.1.2 Легуре са магнезијумом

Главни легирајући елемент ових легура је магнезијум, са обично 5% садржаја а понекад и манган и хром. Легуре поседују нека осредња механичка својстава, имају добре погодности за заваривање. Механичка својства ових легура се побољшавају при ниским температурама. Уколико је садржај магнезијума у легури већи од 5%, повећава се и њихова корозиона отпорност нарочито у морској води, међутим са повећањем магнезијума опада могућност обликовања ових легура. Најчешће се ове легуре примењују у грађевинству, бродоградњи, различите цистерне за транспорт и за посуде.

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

Комбинацијом ова два легирајућа елемента, силицијума (*Si*) и магнезијум (*Mg*), добија се једињење Mg_2Si са осредњим механичким вредностима, али са способношћу за лако обликовање и са могућношћу доброг заваривања. Имају добро отпорност према корозији и 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, као на пример 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 омогућавају највећу чврстоћу 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. Лоша су им антикорозивна својства. Најчешће се употребљавају у авио и свемирској техници као и наоружању.
- Легуре без бакра поседују нешто лошија механичка својства од претходне групе. По правилу су отпорнија на корозију од легура са баком. Њихова употреба је у наоружању, за носиве елементе (нпр. потпорањ у рудницима) и слично. [12]

4.2. Легуре за обраду деформацијом

Као што је већ напоменуто, легуре за обраду деформацијом можемо поделити у два основна типа:

- 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- имају могућност да ојачају легуру али погоршавају обрадивост деформисањем и отпорност на корозију.
- Ni –као елемент који утиче на механичка својства и то поготово на вишим температурама као и на отпорност према корозији. [1]

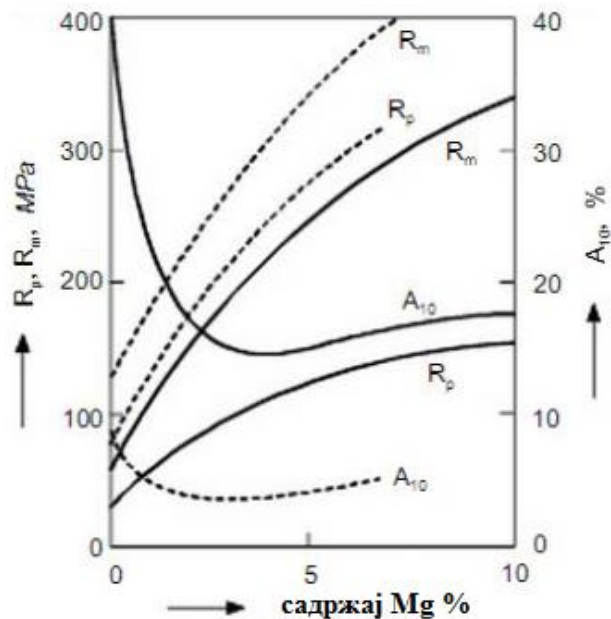
4.2.1 Легуре које се термички не обрађују (некаљиве)

Легуре које се термички не обрађују су углавном легуре са додацима магнезијума и мангана. Код алуминијум-магнезијума присуство магнезијума не иде преко 5,5% јер већи садржај доводи до јаке интеркристалне корозије. Велика антикорозиона отпорност изразита је нарочито према морској води.

Основни чврсти раствор представља главни извор повишене чистоће, док излучене фазе само минорно доприносе укупном нивоу достигнуте чврстоће. У ове легуре убрајају се двокомпонентне легуре Al-Mn и Al-Mg. Испоручују 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 Al_6Mn , који погоршавају механичка својства.

Додатно легирање манганом неопходно је код легуре Al-Mg, јер честицама Al_6Mn омогућава се преципитација са њиховим двојним дејством (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 до 410° C са накнадним хлађењем на ваздуху.

Склоност легура AlMn је крупнозрнаста и стубичаста кристализација која се потискује микролегирањем (Ti, B, Zr). Јако битна ставка код ових легура је могућност ојачавања прерадом на хладно до $R_m=200MPa$ (деформацино ојачање), али и поред тога имају много добру отпорност на корозију.



Слика 13. 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 Mg уједно расте и удео фазе β (Al_3Mg_2) што доводи до погоршања обрадивости деформацијом и смањења отпорности на корозију. Због тога се користе легуре које у себи садрже до 5% Mg. Зависност механичких својства пластично прерађених легура AlMg од њиховог хемијског састава и стања дата је на слици 13. Легуре AlMg које су јако ојачане лако се опорављају (често и на температури околине), мада добра својства се не мењају ни при ниским температурама.

Ове поменуте 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:

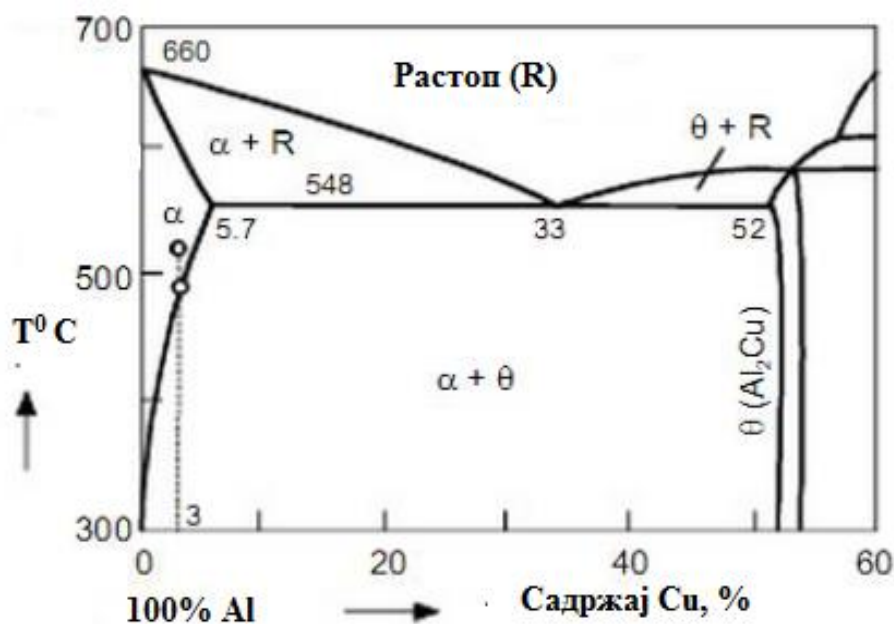
- кровне лимове,
- амбалажу,
- судове под притиском,
- закивке, за прехранбену и електротехничку индустрију,
- откивке у машиноградњи,
- за ауто делове и
- сличне статички оптерећене предмете. [1]

4.2.2 Легуре које се термички обрађују (каљиве)

Нека од легура за прераду деформисањем као и сами одливци алуминијумских легура имају углавном малу јачину али високу дуктилност (истегљивост). Повећање јачине врши се одговарајућом термичком обрадом која се заснива на загревању дела до одређене температуре, држању на тој температури (прогоревању) и затим брзом хлађењу у води. Чврсти раствор образован на високој температури, брзим хлађењем тај раствор задржава се и на собној температури. Овакав поступак обраде где долази до загревања, прогоревања и хлађења зове се пресићење. Након тога следе сложени процеси таложног (преципитационог) ојачања које је уско повезано са појавом старења.

Типична термичка обрада већине Al-легура управо је таложно ојачавање или отврдњавање. При овоме, таложе се fine и равномерно распоређене честице које делују као препрека кретању дислокација и тиме доводе до ојачања легуре.

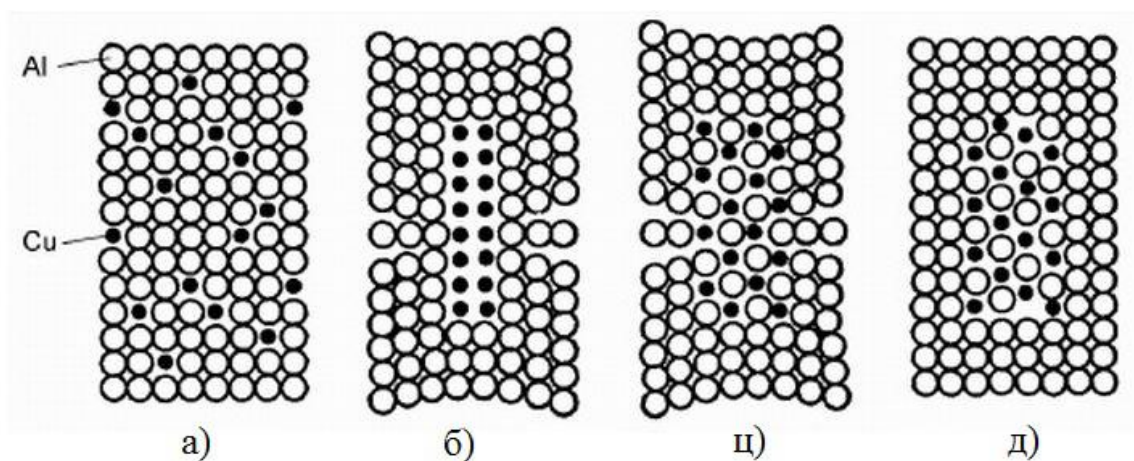
Микроструктурни процеси који се дешавају при таложном ојачању најбоље може да се објасни на примеру бинарног система AlCu. На слици 14. приказан је бинарни дијаграм AlCu. Када у чврстом раствору α растворљивост бакра при температури 548°C са 5,7% опада на 0,1% при собној температури долазимо до претпоставке 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 14. Део равнотежног дијаграма Al-Cu [1]

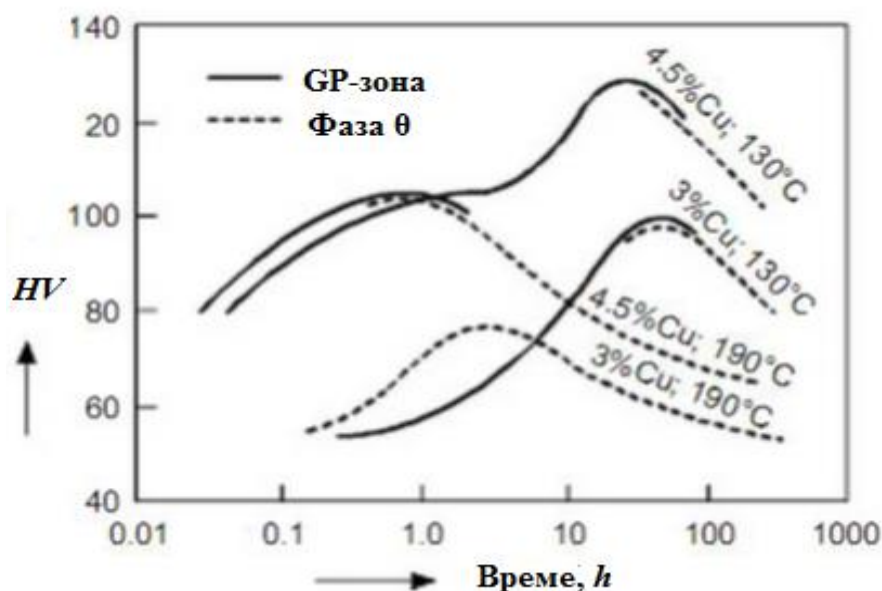
Процес ојачавања одвија се у следеће три етапе:

- 1) Етапа раствореног жарења обухвата загревање изабране легуре до области чврстог раствора α , тј. изнад сегрегационе тачке од 490°C , али 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) Другу етапу сачињава каљење. Каљење обухвата брзо хлађење легура обично до собне. 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) Старење, као трећа етапа у ојачавању, може бити природно (на температури околине) и вештачко (на повишеним температурама). Одвијање појава код овог процеса зависи 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 15 а), б). У каснијим стадијумима ове GP-зоне на слици 15 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 15. 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 [12]

У даљем току старења (слика 15 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 15д).



Слика 16. Зависност тврдоће HV од времена старења t за две легуре $Al-Cu$ и две температуре старења [1]

При старењу долази и до промена механичких својстава. Тај однос приказан је на слици 16, која указује на утицај бакра и температуре старења. Перципитационо (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 особина дешава се и са сложенијим системима у којима се налазе вишекомпонентне легуре алуминијума. Групу чине легуре алуминијума са Cu , Mg , Si , Zn и Li . Такве легуре постижу висок ниво механичких својстава али после одговарајућих термичких обрада. У табели 2 дате су карактеристике легура које се термички обрађују. [1]

Табела 2 Основне карактеристике легура алуминијума за гњечење које се термички обрађују [3]

Легуре	Назив	Ознака	Својства	Примена
$Al - Mg - Si$	Авијали	$AlMgSi$	$R_m < 330 \text{ Мпа}$ $A < 12\%$	За средње напрегнуте конструкције у бродоградњи.
$Al - Cu - Mg$	Дурали	$AlCu_3Mg$ $AlCu_5Mg_1$ $AlCu_5Mg_2$	$R_m < 470 \text{ Мпа}$ 110 HB $A < 17\%$	За напрегнуте и јако напрегнуте конструкције у војној индустрији.
$Al - Zn - Mg$	Конструктали	$AlZn_5Mg_3Cu_1$	$R_m < 520 \text{ Мпа}$ $A < 12\%$	Авио индустрија, грађевинство; нису корозионо постојане
$Al-Li-Cu-Mg$	Легуре алуминијума и литијума	Al_3Li	$R_m < 630 \text{ Мпа}$	Главна легура за израду авиона

Дуралуминијум

Алфред Лим, немачки научник, радио је на припреми легуре алуминијума која 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 $2,850 \text{ g/cm}^3$, се лако подвргавају механичкој обради, тако да се по својим карактеристикама најчешће приближава неким врстама меког челика.

Добијање легура дуралуминијума састоји се из неколико поступака:

- Први поступак је добијање зоне минералне отпорности, који 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.

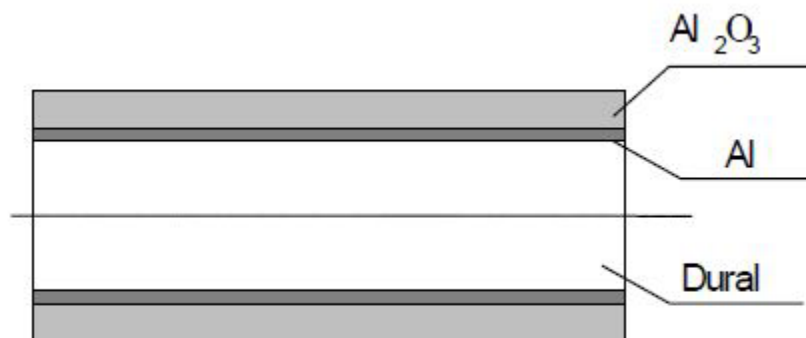
- Развијено је до дана данашњег више легура овим поступцима које се донекле разликују по саставу, начину термичке обраде и ознакама, али једним именом зову **ДУРАЛИ**.

Дуралуминијумске 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.

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

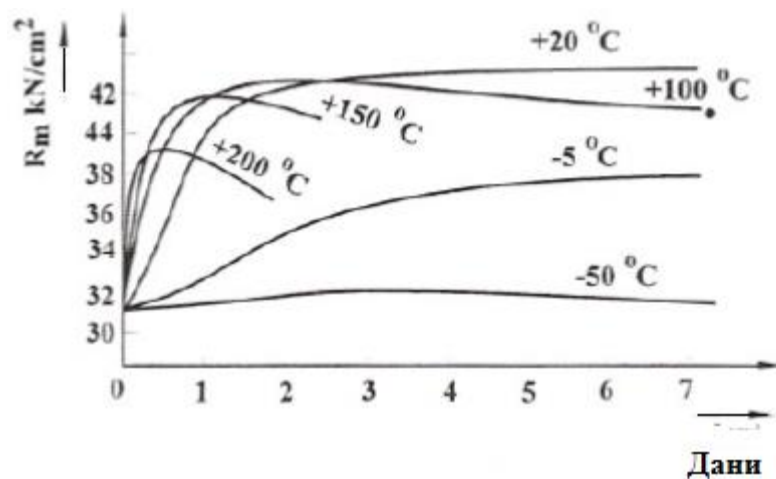
Главни недостатак ових легура била је лоша постојаност у сланој води која доводи до брзог кородирања ових легура. Материјал којим се врши заштита назива се Al-klad (Al-clad). Дуралуминијум у кородирајућој сланој средини врло брзо кородира и пропадне па је било неопходно пронаћи технику да се заштити од корозије. Добија се поступком који се у енглеском језику назива "*cladding*" (превлака) (слика 17). По површини дуралуминијума наноси се танак слој чистог алуминијума који врло брзо оксидира и ствара заштитни слој оксида (Al_2O_3), који штити од даље корозије. [3]



Слика 17. Попречни пресек Al-klad алуминијума [3]

Дуралуминијум се кали тако сто се загрева до 500 ± 10 °C са хлађењем у води до собне температуре. Одређене 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. Највећу чврстоћу и тврдоћу дуралуминијум постиже у току првих 12 сати након каљења. Процес постепеног учвршћавања назива се старење

Специфичност дуралуминијума је та што 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 (слика 18) .

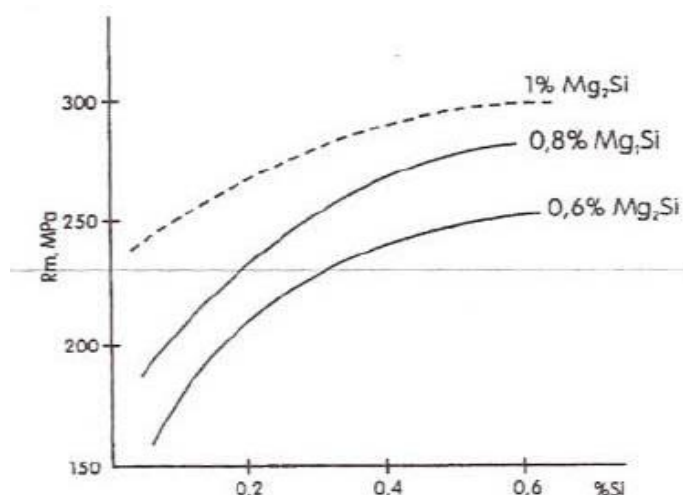


Слика 18. Промена чврстоће дуралуминијума у току старења на различитим температурама [1]

Пре обраде дуралуминијума на савијање, пресовање, развртање и много других обрада примењује се обрада жарењем. Обрада на хладном могућа је тек након жарења дуралуминијума. Жарење се примењује пре обраде дуралуминијума савијањем, пресовањем, развртањем и многих других. Жарење дуралуминијума састоји се у загревању на око 350°C на незнатном држању на тој температури и затим хлађењем. Жарењем се смањује тврдоћа и чврстоћа дуралуминијума. [3]

Авијали

Овај тип легура садржи бакар који је у односу на дурале знатно снижен, док код овог случаја садржај силицијума је релативно висок. Поред ова два елемента, садржи као додатак и магнезијум. Главна карактеристика авијала је нижи ниво чврстоће у односу на дурале, али знатно боље дуктилна својства. Корозиона постојаност и лака заварљивост као и добра отпорност према лому услед замора још једна су од предности ових легура. Ојачање у авијалима резултат је деловања интерметалне фазе Mg_2Si (слика 19).



Слика 19 Утицај додатка силицијума Mg_2Si на чврстоћу код легуре Al-Mg-Si [1]

Каљење авијала одвија се на температури 515°C до 525°C у води, а било природно или вештачко старење ради ојачања на температури 160°C траје 12 сати. Најбоље је спровести вештачко старење одмах након каљења, у противном се достиже нижи ниво својстава чврстоће. Употреба легура је 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

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. Представљају групу која је механички отпорнија од легура из групе 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, чистоћа и тврдоћа постиже се вештачким старењем након раствореног жарења. У преципитацијски ојачаном стању средња вредност чврстоће износи око 550 N/mm², а зависно од хемијског састава и металуршког стања чврстоћа може достићи и 676 N/mm². 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. С циљем поуздане примене у војном ваздухопловству ова група легура се након растворног жарења може вештачки старити како би се постигла боља комбинација чврстоће, корозијске отпорности и ломне жилавости. 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 пукотина. [3]

Легуре алуминијума са литијумом

Литијум је опште познат као најлакши метал, с густином од 534 kg/m³, па се додатком свега 2 до 3% литијума смањује густина за 8 до 10% у односу на конвенционалне алуминијумске материјале коришћене у војном ваздухопловству и за израду делова при наоружању. Употребом легура алуминијума и литијума ефикасно се смањује тежина авионске конструкције, олакшавају се конструкције код пушака, пиштоља, итд. чиме се остварује уштеда горива или је могуће повећати корисну носивост за исту тежину летелице или конструкцијских делова наоружања што опет знатно смањује оперативне трошкове. Уз то ове легуре имају и до 10% већи модул еластичности који осигурава побољшану крутост. Остала својства слична су легурама из групе дурала и конструктала. Недостатак легура у односу на остале алуминијумске материјале јесте смањена жилавост и неотпорност напонској корозији. Додатно се жилавост ових легура смањује дуготрајном експлоатацијом на спољашњој температури или краткотрајном употребом на повишеним температурама. На спољашњој температури изван гubitак жилавости јавља се тек након више година експлоатације, док се на температури 120 до 150 °C тај исти губитак може очекивати већ након само два дана излагања.. Пораст кртости материјала, према најширем тумачењу, последица је гомилања дислокација на Al₃Li честицама чиме се стварају иницијалне пукотине. Као могући разлог наводи се и присуство текуће фазе на бази алкалијских елемената (Na, K, Cs, Rb) који се уносе претежно путем литијума и

дифундирају на границе зрна где стварају тернарни еутектикум Na-K-Cs који остаје у делимично течном стању све до температуре -78°C . Будући да је та фаза течна и мала количина може покрити велику површину по граници зрна и тиме доприноси кртости. Надаље, присуство водоника је такође непожељно јер он дифундира на границама зрна и улази у течни еутектикум и повећава кртост. Стога су развијене методе рафинације растопа у вакууму како би се смањио садржај алкалијских нечистоћа и уједно редуковао садржај водоника чиме се делимично побољшава жилавост ових легура. Легуре са силицијумом првенствено су намењене у војном ваздухопловству. Користе се за израду плоча дебљине до 150mm и у екструдираним облику за делове пречника до 100mm . [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**.

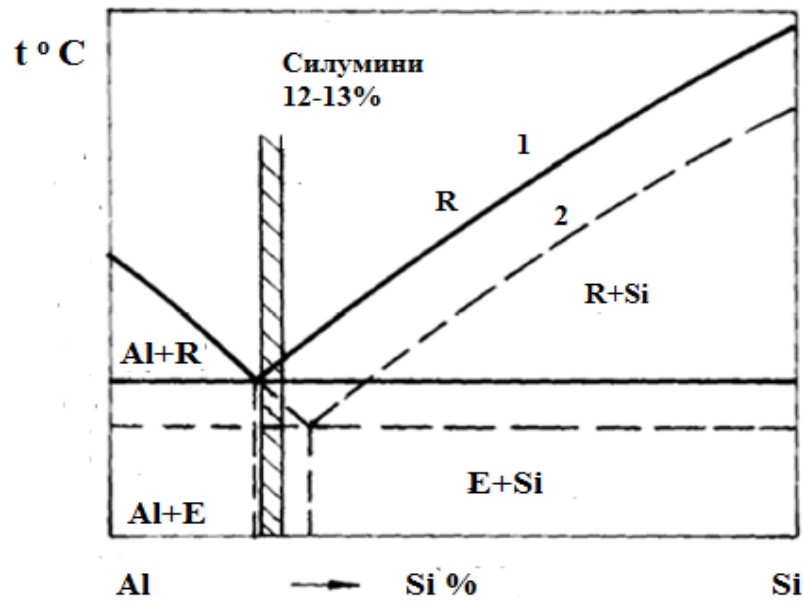
Ливачке легуре погодне су за таложно ојачање како силумини са додацима бакра, магнезијума и никла, тако и легуре типа Al-Cu са осталим додацима који су наведени у табели 3. Када се магнезијум дода силумину долази до ојачавања на топлотом при чему главна отврдњавајућа фаза је β' (Mg_2Si). У ојачаном стању може да се достигне затезна чврстоћа $R_m = 200\text{--}250\text{MPa}$, при веома малом издужењу (1-3%). [1]

Табела 3. Одабране ливачке легуре алуминијума [3]

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.

Силумини

Ливачка легура алуминијума са додатком силицијума која је широку примену и заступљеност нашла у средствима војног ваздухопловства као и авио индустрији. Лако су топлјиве легуре, са добром отпорношћу према корозији. Задовољавајуће механичке карактеристике ових легура омогућавају добру погодност при заваривању. Да би се добио квалитетан одливак са добром густином и механичким карактеристикама користе се силумини са уским интервалом кристализације. Обичан силумин садржи око 12-13% силицијума, а према структури представља надеутектичку легуру која у себи садржи груб игличасти еутектикум (Al + Si) и кристал чистог силицијума. Током процеса ливења легури се додаје мала количина натријума (модифицирање) при чему долази до промена око структуре и својства. Легура тада постаје подеутектичка и састоји се од зрна алуминијума и ситнозрнастог еутектикума (слика 20). Затезна чврстоћа ових легура пре модифицирања при садржају 13% Si износи $R_m = 140\text{Мпа}$, а издужење $A = 3\%$, док после модифицирања затезна чврстоћа износи $R_m = 180\text{Мпа}$ а само издужење $A = 8\%$.



Слика 20. Утицај модифицирања на кристализацију у систему Al-Si
 1) Без модифицирања ; 2) После модифицирања [11]

Од ових легура израђују се одливци који не захтевају висока механичка својства. Поред обичних постоје и специјални силумини, код којих се са додатком Cu , Mg и Mn , уз 4–10% Si својства значајно повећавају. [3]

5. ТЕХНОЛОШКА СВОЈСТВА АЛУМИНИЈУМА- МЕТОДЕ ОБРАДЉИВОСТИ

Побољшавања механичких својстава алуминијума додатком одређених легирајућих елемената, знатно се утиче на повећање чврстоће али и крутости. Због тоја је могућа примена разних метода за обраду алуминијума, при којима долази до промене у кристалном саставу решетке али у очувању његових осталих карактеристика.

Најзаступљеније методе у војној индустрији су:

- Обрада алуминијума и његових легура ливењем
- Обрада алуминијума пластичном деформацијом
- Поступак заваривања алуминијума

5.1 Обрада алуминијума и његових легура ливењем

Представља технологију обликовања металних предмета који су растопљени у одређеним калупима, да би се после хлађења добио одливак. Економичност овог поступка довела је до тога да се користи за израду различитих делова и елемената у војној индустрији. Примена овог поступка користи се за израду блокова, глава и кипова мотора код оклопних возила. Применом савремених поступака ливења, на металима попут алуминијума омогућавају добојање одливака различитих димензија, тачности и квалитета површине, за потребе војног наоружања, оклопа итд. Најважнија својства алуминијума која долазе до изражаја применом ове методе су степен ливкости и промена запремине при хлађењу. За обраду алуминијума најчешће се примењује гравитационо ливење у кокиле (уливање у металне калупе). У односу на друге поступке ливења имају одређене предности, те веома су распрострањени.

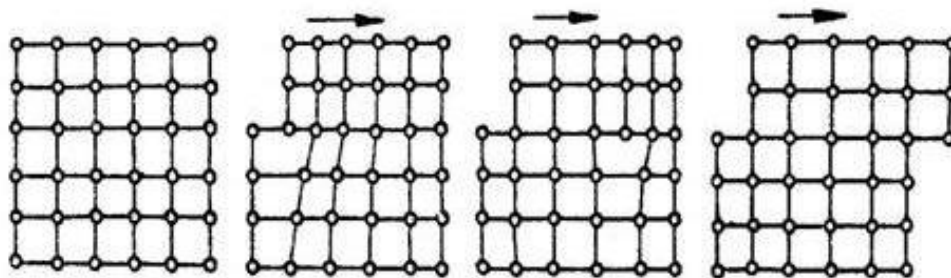
У поређењу са уливањем у пешчане калупе уливање у кокиле има следеће предности:

- Боље механичке карактеристике,
- Тачност димензија и облика је већа, као и квалитет површине (мањи додаци за обраду),
- Економичнија производња,
- Отпада потрошња песка за калуповање,
- Мања потрошња песка за језгра јер неке од језгара могуће је заменити металним,
- Мање време израде јер отпада израда пешчаних калупа,
- Мањи радни простор - отпада складиштење и обрада песком. [14]

5.2 Обрада алуминијума 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 21).[3]



Слика 21. Дислокације кристалне решетке при пластичном деформисању [3]

5.3 Поступак заваривања алуминијума

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 узроци 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.

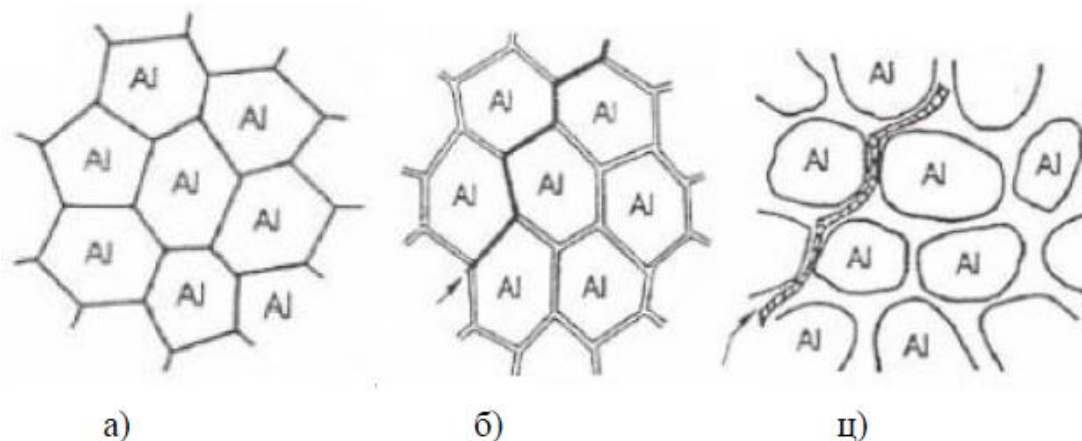
Најзатупљенији облик заваривања је TIG заваривање или такозвано електролучно заваривање нетопљивом електродом у неутралном заштитном гасу или неутралној смеси гасова, где користи нетопљива волфрамова електрода. Својство овог поступка је стабилан електрични лук и високо квалитетан завар (слика 22).



Слика 22. Завар добијен електролучним заваривањем [3]

5.3.1 Захтеви за заварљивост и заварене спојеве

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. На слици 23. приказани су типови очвршћавања легура алуминијума.



Слика 23. Различити типови очвршћавања легура алуминијума,
а) чист алуминијум; б) мали еутектикум; в) значајни еутектикум. [3]

На слици 23. а) представљен је чисти алуминијум. Нема критичног температурског интервала тако да очврсли кристали алуминијума се чврсто повезују после очвршћавања, долази до тенденција стварања пора. Мали еутектикум (слика 23 б) карактерише критични температурски интервал који има тенденцију „врћих суза“ јер је маса чврста, али није повезана, док код значајног еутектикума нема критичног температурног интервала тако да нема ни тенденције настајања прелина, јер чврсти кристали алуминијума пливају у еутектикуму, али постоји ризик од скупљања по границама зрна

Сви алуминијумски материјали, посебно они са повишеном чврстоћом, код статичких и динамичких напрезања су веома осетљиви на заваре. 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. [15]

6. ПРИМЕНА АЛУМИНИЈУМА У ВОЈНОЈ ИНДУСТРИЈИ

Савремена средства наоружања и војне опреме морају да задовоље одређене тактичко-техничке и борбено-експлоатационе карактеристике у свим условима употребе. То захтева, високу покретљивост, носивост, захтеви ефикасног дејства, потребну сигурност и поузданост, малу масу и дуг век трајања. Могућност ових захтева једино је изводљива ако се за њихову израду користе материјали високе чврстоће и пластичности, велике отпорности према лому у статичким и динамичким условима, корозионе постојаности и отпорности према корозионом захтеву, напонској корозији и интеркристалној корозији. Главни тактичко-технички захтеви које треба да испуне различита оруђа и оружја као и војно ваздухопловство у циљу стварања нове конструкције су:

1. **Борбени захтеви:** Борбени захтеви се односе на моћ, маневар и издржљивост оруђа. Под моћи оруђа/оружја сматра се дејство пројектила на циљ, максимални домет, прецизност и тачност гађања и брзина гађања. Под појмом маневар подразумева се покретљивост оруђа/оружја, маневар ватром и маневар путањом. Издржљивост је могућност очувања борбених способности.
 - **Дејство пројектила на циљу:** Могућност у зависности од избора материјала за израду пројектила, како ће деловати на дати циљ. То се најчешће одређује пречником левка на месту његовог дејства, који образује у земљи у тренутку експлозије, док се ударно дејство огледа у дебљини пробијања препреке.
 - **Максимални домет:** За меру максималног домета узима се максимална хоризонтална даљина гађања одређеног оружја/оружја.
 - **Прецизност и тачност гађања:** Груписање погодака на што мањој површини.
 - **Брзина гађања:** Јако битна карактеристика нарочито при покретним циљевима.
 - **Маневр:** Покретљивост оруђа одређује се брзином кретања оруђа по различитим путевима и ван путева.
 - **Издржљивост оруђа:** Могућност очувања борбених карактеристика у условима експлоатације.
2. **Захтеви послуживања**
 - Безотказан рад свим механизмима оруђа/оружја
 - Безопасност руковања оруђем/оружјем
 - Једноставност и лакоћа послуживања
3. **Производно-економски захтеви:** Имају за циљ да обезбеде масовну и брзу производњу уз адекватну примену материјала који ће обезбедити лаку конструкцију велике поузданости и обезбедити брз ремонт артиљеријских оруђа. Главни захтеви су:
 - Једноставна конструкција, примена адекватних материјала и високо продуктивна технологија производње.
 - Међузаменљивост и стандардизација већег броја делова.
 - Типизација лафета и нишанских справа.
 - Коришћење за производњу домаћих материјала. [2]

Сви ови захтеви морају да буду задовољени како би се омогућило конструисање нових оруђа/оружја. Треба напоменути још један од битнијих захтева а то је да материјал има малу масу и могућност лаког обликовања. Све ове карактеристике која треба да задовоље дате захтеве није могуће наћи у једном материјалу. Због тога се врши

примена различитих метала и њихових легура које применом одређених технологија дају јединствен спој. Примене легура алуминијума у војне сврхе играју огромну улогу због повољног односа чврстоће и специфичне масе, добре корозионе постојаности. Особине им се побољшавају у условима експлоатације на ниским температурама и имају високу пластичност тј. чврстоћу уз велике могућности подешавања међусобног односа ове две карактеристике легирањем, хладном деформацијом и термичком обрадом.

Све комерцијалне легуре алуминијума примењују се у средствима наоружања. Оштри захтеви и високе перформансе код средстава наоружања, захтевали су развој нових легура специфичних карактеристика. Такве легуре добијене су углавном из система комбинације алуминијума са различитим легирајућим елементима као што су Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu, Al-Li-Mg, Al-Cu-Mg-Ni-Mn-Si-Fe и легура Al-Mg-Mn. Зависно од одновних намена могућа је примена легура високе затезне чврстоће око 750 МПа (Al-Zn-Mg), за израду делова класичних рaketних пројектила, или легуре добре чврстоће и заварљивости (Al-Mg), за оклопна тела борбених возила, као и легуре средње чврстоће и велике пластичности (Al-Cu), за израду делова мотора за борбена возила. Ту су још и легуре високе пластичности (Al-Cu-Li) које се углавном користе за израду делова за опрему и бојевих глава ракетних и артиљеријских пројектила. За израду средстава наоружања алуминијумске легуре се користе у облику танких и дебелих лимова (платираних и неплатираних), пресованих и вучних профила и шипки, отковака и одливака. У табели 4 дате су легуре које се најчешће користе као делови наоружања. [16]

Табела 4. Легуре алуминијума које се примењују у војне сврхе [16]

Систем	Ознака	Хемијски састав, %						Просечна механичка својства		
	АА	Zn	Cu	Mg`	Mn	Si	Cr	R _m (Мпа)	R _{p02} (Мпа)	As (%)
Al	1050							120	80	11
Al-Cu-Mg	2014		4.5	0.6	0.8	0.8	0.1	420	280	18
	2017		4.0	0.6	0.7			420	280	18
	2024		4.4	1.5	0.6			460	320	18
	2030		4.0	0.8	1.0	Pb=1.0		420	280	12
Al-Mg	5052			2.5			0.25	200	100	20
	5083			4.5	0.8			300	140	18
	5086			4.0	0.5		0.15	270	120	222
	5754			3.0	0.3			220	100	23
	5056			5.0	0.2		0.15	280	120	15
	AlMg6 Mn (GOST)			6.5	0.7			320	160	16
Al-Mg-Si	6060			5.0		0.5		220	170	14
	6061		0.3	1.0		0.6	0.2	300	270	13
	6081		0.3	0.8	0.3	0.9		320	280	14
	6082			0.8	0.8	1.1		320	280	12.5
Al-Zn-Mg	7005	4.5		1.4	0.5		0.15	380	320	12
	7039	4.0		3.0	0.3		0.3	450	370	12
	7007	6.5		2.0	0.4		0.2	510	460	12
	7075	5.6	1.6	2.5			0.25	540	480	10

<i>Al-Zn-Mg-Cu</i>	7079	4.3	0.6	3.3	0.2		0.2	530	460	14
	7178	6.8	2.0	2.7			0.25	600	530	9
	7001	7.4	2.1	3.0				630	570	9
	7049	7.7	1.6	2.3			0.22	640	570	10
	7050	6.2	2.3	2.3	0.1			530	460	11
<i>Al-Li-Mg</i>	8090		1.2	0.75	Li=2.5			420	310	9
	8091		2.9	0.8	Li=2.5			600	550	10
<i>Al-Si-Mg</i>	356			0.3		7.0		280	200	6
	332		1.0	1.0	Ni=2.5	12.0		260	220	3
	360			0.5		9.5		290	240	6

Наведене легуре алуминијума нашле су велику примену у војном сектору. Распрострањеност њихова највише је заступљена у производњи:

- војних авиона,
- оклопних борбених средстава,
- мостова и инжењерске опреме[15]

6.1. Легуре алуминијума у војном ваздухопловству

Значај авиона и могућност практичне примене прво је уочен у војној индустрији. Током Првог светског рата уложени су велики напори у даљем усавршавању, па је у том раздобљу брзина авиона порасла преко 2 пута, а снага мотора за око 4 пута. Између два рата развој се одвијао у више етапа од којих су најважније: прелаз на металну конструкцију са слободно носећим крилом, примена металних елиси, увлачење стајног механизма.

У раздобљу Другог светског рата потврђена је значајна улога авиона као војног оружја и у току тих пет година развој је био неупоредиво бржи него у доба мира. У авионе се уграђују различити материјали, од којих неке срећемо и данас, побољшаних карактеристика. Типични представник авиона тог времена је енглески ловац Hawker Hurricane (слика 24) са распоном крила од 11,27 m, дужином 9,75 m, висином 2,65 m, масом од 3495 kg и снагом мотора 1650 КС и највећом брзином 510 km/h. [16]



Слика 24. Авион Hawker Hurricane Mark I [17]

Труп авиона начињен је у облику решеткасте конструкције од округлих челичних цеви са делимично жичаним затегама, а спојеви су остварени нитнама. Крила су првобитно била од челичних ребара и дуралуминијумских елемената, превучена ланеним платном. Платно се користило и као облога трупа авиона као и на његовим репним површинама. Спољашње платнене површине премазивале су се посебним премазом на бази ацетил-целулозе растворене у ацетону чиме се повећала чврстоћа. Касније се прешло на уобичајену концепцију крила изведеног у потпуности од лаке алуминијумске легуре прекривеног металним плочама. [16]

Током протеклих година технологија је знатно унапредовала али примена алуминијумских легура и данас је присутна у војном ваздухопловству. Савремени борбени авиони изложени су високом притиску током лета, посебно у појединим режимима и маневрима. Оптерећење је променљиво са учестаностима које зависе од типа летелице и њених карактеристика. Јако је битно у том случају водити рачуна о замору неких делова при нискоцикличним и при високоцикличним оптерећењима. Још једна од битних карактеристика је аеродинамичко загревање при суперсоничним брзинама. За израду борбеног ваздухопловства користе се легуре алуминијума Al-Cu-Mg и Al-Cu-Li у облику лимова или профила. Ове легуре имају високу чврстоћу и добру пластичност, имају добру отпорност на заморе, стварање и простирање заморне прслине.

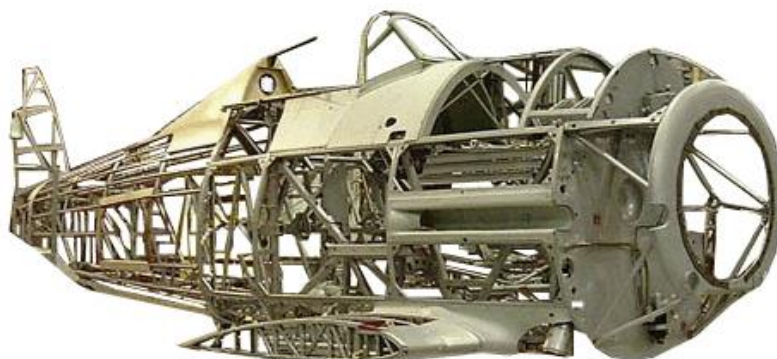
Конструкција војног авиона је следећа:

- труп авиона,
- крила,
- реп,
- стајни трап,
- помоћна борбена опрема.

Од наведених делова војног авиона готово 65% конструкције израђено је од легура алуминијума. Примена легура алуминијума највише је заступљена код трупа авиона, који представља основу целе конструкције, и део крила авиона.

6.1.1 Труп војног авиона

Труп војних авиона (слика 25) је централни део конструкције који повезује крила, репове, а често и стајни трап. Намењен је за смештање војне посаде, део опреме као средство наоружања, гориво, стајни трап и гориво. То је део који трпи највеће оптерећење како од узгонских сила, тако од стајног трапа а понајвише на средства наоружања која су директно везана за њега.



Слика 25. Труп војних авиона [20]

Као основа на коју се постављају остали носећи елементи, труп мора да обједини сва оптерећења у једноставну целину . Основни услов који треба да задовољи јесте да буде функционалан у свим условима експлоатације како са најмањом масом структуре, тако и са највећом. Ови захтеви се постижу:

- Избором спољног облика и вредностима параметара за минимални отпор, као један од доминантних критеријума за његово формирање и димензионисање.
- Избор носећег трупа који ће са свим деловима носећих конструкција имати удео носивости око 40%
- Рационално димензионисање структуре са компактним распоредом оптерећења близу тежишта летелице. Тиме се постиже смањење масе као и момента инерције и побољшавају се маневарске карактеристике. Сужава се опсег промене положаја тежишта у различитим случајевима оптерећења, због потрошње горива и муниције, што обезбеђује већу стабилност и управљивост летелице.
- Када се посматра склоп трупа летелице са свим оптерећењима долази до преноса снаге са погона од осталих агрегата па је неопходно обезбедити веома снажне везе са тим системима. Пренос оптерећења од равнотежне силе на репу, услед момента, који чине силе на крилу, стајног трапа, од уграђене опреме у трупу, као и аеродинамичких оптерећења која директно делују на читаву конструкцију и услед разлике притиска у кабини и спољног, такође утичу на димензионисање његових елемената.
- Јако је битно обезбедити олакшани приступ различитим јединицама , смештање опреме у труп , као и преглед и одржавање. Јако је битно имати могућност примене поправке али и такође уласка и изласка војне посаде и могућност употребе оружја у лету. Војној посади је неопходно обезбедити потребне животне услове, одређени ниво комфора приликом летења на свим оперативним висинама уз одговарајуће топлотне и звучне радне стандарде у кабинама. Дobar преглед окружења је неопходан за саму посаду, посебно приликом ратних услова где је неопходно и безбедно напуштање авиона. На слици 26 приказан је скелет конструкције трупа летелице оштећеног у борби. [20]



Слика 26. Скелет конструкције трупа летелице оштећеног у борби [19]

6.1.1.1 Оптерећења и структура трупа са применом легура алуминијума

Од сила које делују на труп авиона зависи одабир одговарајуће легуре алуминијума, која мора да задовољи све захтеве и обезбеди поуздану конструкцију. Силе које делују на труп авиона су:

- силе које се преносе на труп, од авионских делова - крила, репа, стајног трапа, мотора, наоружања итд, који су причвршћени на њега;
- сила и момената инерција, опреме смештене у трупу и инерцијалних сила сопствене масе трупа;
- аеродинамичких сила распоређених по површини трупа;
- сила услед разлике притиска унутра/споља кабине под притиском, опреме, устисницима итд.

Са тачке гледишта структуралног оптерећења трупа, исти се може посматрати као кутијаста греда, постављена на крилу и изложена претходно наведеним оптерећењима. У сваком делу ове греде су вертикалне и хоризонталне компоненте сила смицања, савијања моментима од концентрисаних сила и момената инерције. У затвореним преградама додаје се оптерећење услед унутрашњег надпритиска.

Најрационалнији пројекат трупа је када исти поднесе све оптерећење, с минималном сопственом тежином. То се постиже са реализацијом танкозидних поља, која се ослањају и преносе оптерећења на оквири трупа. Рационалност такве љуске обезбеђује пуно коришћење своје оплате, за прихват локалног оптерећења услед динамичког притиска, унутрашњег притиска, а и општих радних оптерећења, која се састоје у томе да оплата прима све силе смицања, обртни момент и остало оптерећење, у које је укључен и прихват момената савијања. Зид трупа се састоји од елемената:

- оквира,
- уздужника,
- оплате (коре) (слика 27.)



Слика 27. Приказ зида трупа код војног авиона MiG-35 [19]

Попречни пресеци уздужника и оквира су типа профила за пружање великих отпорних момената. На местима увођења већих оптерећења у труп (концентрисана оптерећења), оквиру су већег пресека.

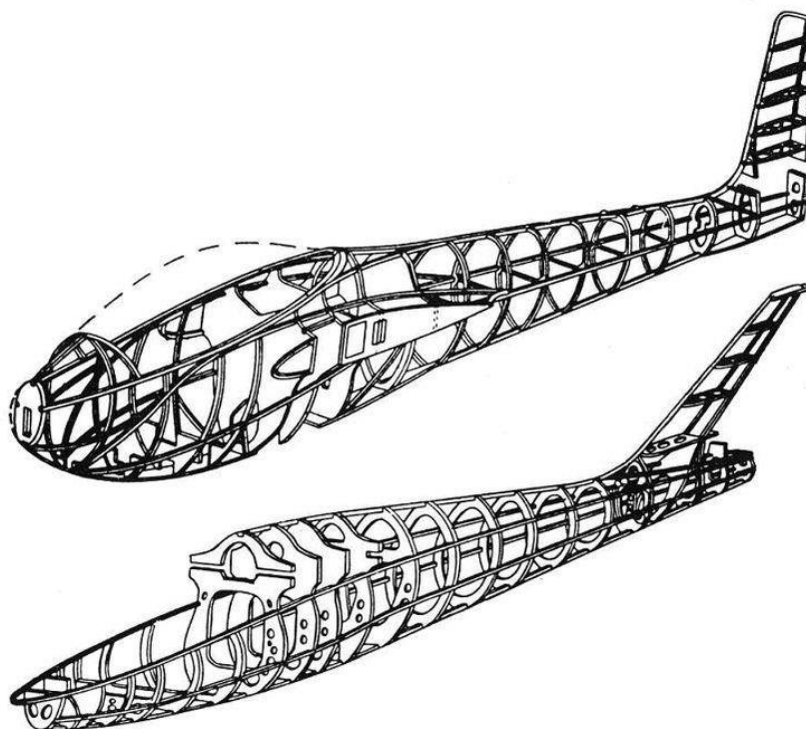
Од структура које се примањују у производњи трупа код авиона, најчешће су у употреби:

- Монокок структура
- Полу-монокок структура

За војне авионе најчешће се примењује друга структурна концепција.

Полу-монокок структура

Ово је препоручени принцип пројектовања за структуру трупа од алуминијума. Прво, низ оквира у облику попречних пресека трупа, постављају се на месту где је потребна чврстоћа. Ови оквири заједно са лаким уздужним елементима, који се називају „стрингери“, укрућују поља алуминиске оплате, с чиме се постиже њихова велика носивост. Структура се такође формира у одговарајућим алатима, тако што се прво распоређују оквири и „стрингери“, међусобно се причвршћују закивањем. Затим се прекрива лименом оплатом од алуминијумских легура, која се причвршћује на уздужнике и оквири закивањем или специјалним лепком. Производни алат се затим растави и из њега се извади завршен сегмент трупа са оплатом, који се затим склапа у целину и опрема са инсталацијама, командама лта и унутрашњом опремом, као што су седишта и остало. Трупови за већину борбених авиона су произведена по овој широко коришћеној технологији. На слици 28 приказана је шема полу-монокок структуре.



Слика 28. Приказ полу-монокок структуре код ратног авиона *MiG-35* [18]

Да би се побољшала крутост и чврстоћа структуре авиона при формирању оваквих структура све више се развијају легуре на бази Al- Li, које имају мању специфичну масу и вишу границу течења од легура типа дуралуминијума. Лимови од Al- Li легура могу се спајати заваривањем, што јако олакшава производњу и повећава структурну отпорност делова. Тако на руском авиону *MiG-35* (слика 29.) предњи део трупа је одрађен од Al- Li легура и спојени поступком завривања. [19]



Слика 29. Руски авион *MiG-35* [18]

6.1.2 Крила војног авиона

Крило војног авиона је у облику такне пчоче променљивих дебљина сагласно законима термодинамике. Служи за стварање силе узгона при кретању кроз сам флуид. Потребан узгон за задат лет, дефинише геометрију крила летелице која је у блиском контакту са свим аеродинамичким карактеристикама, али и са одабиром одговарајуће врсте материјала. Пројектовање, димензионисање, испитивање структуре и одабир материјала, су најдоминантније фазе развоја.

Поред тога што крила ставрају узгон, у оквиру његове запремине често се уграђују ноге стајних органа, резервоари горива као и део војне опереме. На слици 30 приказано је руског авиона *MiG-21* са ратном опремом.



Слика 30. Руски авиона MiG-21 са ратном опремом [21]

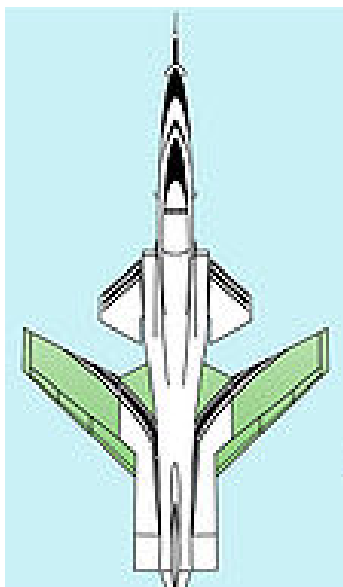
Са спољне стране борбених авиона постоји могућност уградње поред, бомбардерског и ракетног наоружања, гондола за моторе као и допунских резервоара за гориво. На слици 31. Приказан је шема борбеног авион *MiG-23* са спољним теретом.



Слика 31. Борбени авион MiG-23 са спољним теретом [23]

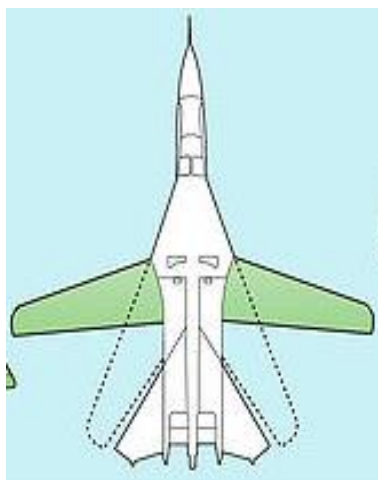
Једна од веома важних карактеристика је и облик крила који је примењиван код војних авиона. Најчешће примењивани облици крила код војних авиона су:

1. Стреаласто крило са углом стреле унапред (слика 32.) - Погодност примене оваквог крила је боља аеродинамичка карактеристика која доводи до лакшег супротстављања отпору ваздуха. Динамичка крутост структуре овог крила се теже решава. Главни недостатак примене оваквог крила је појава нестабилности структуре.



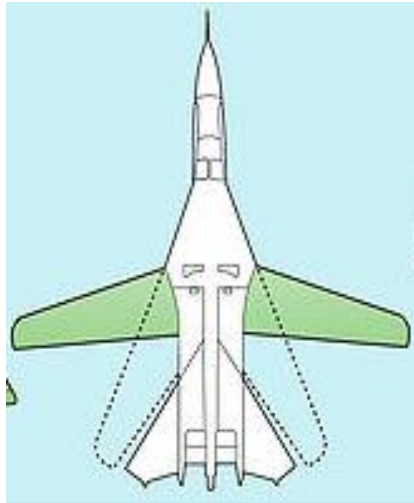
Слика 32. Стреаласто крило са углом стреле унапред [22]

2. Крило променљивог угла стреле уназад (слика 33) је помирљиво решење за аеродинамику крила у подзвучној, звучној и надзвучној области брзина, док је тешко решење са аспекта конструкције и производње његове структуре. У једном периоду историје ваздухопловства се сматрало да та концепција има перспективу за дуготрајнију примену. На савременијим авионима, четврте и пете генерације је то демантовано. Они су развијани с фиксним крилом, интегрално оптимизираном укупном конфигурацијом, за услове целе коришћене области брзина лета (примењено је тзв. *трисонично крило*).



Слика 33. Крило променљивог угла стреле уназад[22]

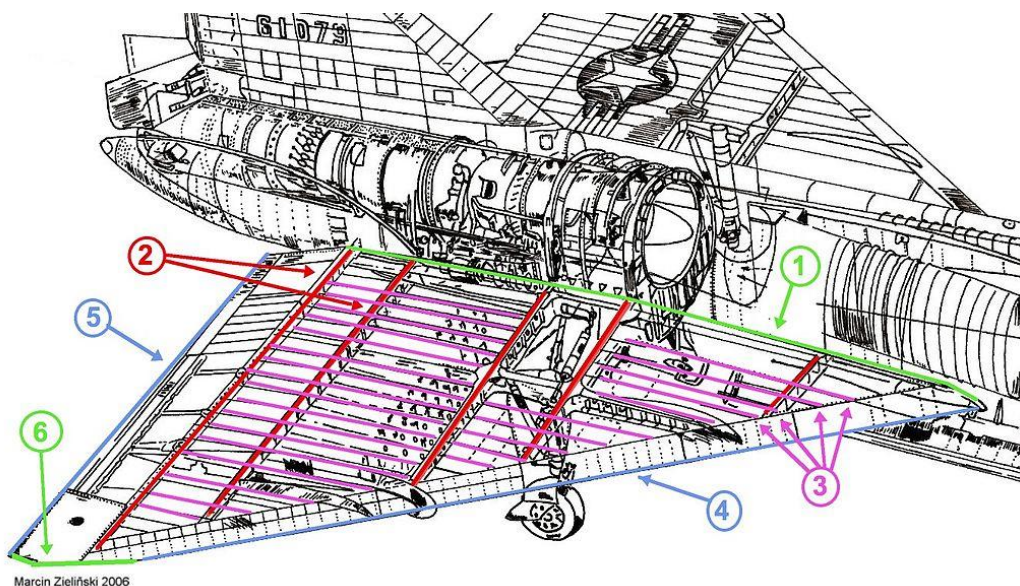
3. Криво променљивог угла стреле, комбиновано, уназад-унапред (слика 34) је идеја која није заживела у примени. Код ове конфигурације се цело крило закреће, тако да једно полукрило има ефекат угла стреле унапред, а друго уназад. Ова идеја има структуралне повољности за лакше разрешење чврстоће и механизма погона промене угла стреле, али у осталим областима би настали нови проблеми. Ова концепција руши карактеристику симетричности авиона, у односу на раван симетрије.



Слика 34. Криво променљивог угла стреле, комбиновано, уназад-унапред [22]

6.1.2.1 Оптерећења и структура крила са применом легуре алуминијума

Приликом израде крила код војних авиона примењивана су техничка решења и технологије у пројектовању и изради структуре, од најједноставнијих до заснованих на најсавременијим рачунарским и експерименталним методама оптимизације у пројектовању и производњи. Примена материјала је имала велику еволуцију, од дрвета и текстила до високо квалитетних лаких легура, легура челика, титанијума и композита. Првенствено су своје место код израде нашле легуре алуминијума. Структура се мењала системски и концепционо, од најједноставније решетке пресвучене отпорним платном, дрвене пресвучене лепенком, од подсклопова од профила лимова лаких легура међусобно спајаним елементима полимерних материјала, интегралних добијених фрезовањем делова од лаких легура, до полиримезованих композитних. Све концепције се углавном заснивају на сличној улози појединачних подсклопова у склопу целог крила. Ти подсклопови су начелно рамењаче, уздужници, ребра, завршна ивица, нападна ивица и окови. На слици 31 обележени су набројани подсклопови.



Слика 51. Криво са подсклоповима [22]

Окови су најоптерећенији подсклопови, преко којих се преноси све оптерећење између трупа авиона и крила. На њима је највећа концентрација напона, због чега се израђују од високо квалитетног челика у комбинацији са легурама алуминијума обогачених магнезијумом или манганом.

1. Раменаџе су подсклопови постављени дуж крила, често су само две главне и неколико помоћних. Са главним раменаџама се прихвата (*сабира*) укупно оптерећење крила и преноси на труп преко окова. Раменаџе су распоређене у структури крила на растојању, које им обезбеђује висину, у оквиру расположиве дебљине аеропрофила.
2. Ребра су подсклопови попречно распоређени, у односу на раменаџе, дуж целе њихове дужине. Спољњи обрис им одражава облик локалног аеропрофила, на дотичном пресеку крила. Ребра преносе оптерећења с *коре* крила на раменаџе.
3. Нападну ивицу формира одговарајући уздужник, чији континуитет, дуж размаха крила, прекида уградња преткрилца.
4. Излазну ивицу формира троугласто профилисани уздужник, чији континуитет прекидају крилца и закрилца.
5. Терминезон је део завршне структуре, с којом се завршава крило. Тај део структуре се изводи у функцији граничне плоче.

Како би се извршила оптимизација структуре крила, посебно у домену димензионисања мора се водити рачуна о избору правог материјала који ће обезбедити добру балансираност између чврстоће и крутости. Примена дуралуминијума у изградњи већег дела конструкције крила омогућава лаку продорност услед великих аеродинамичких оптерећења, јер су дурали по својим својствима отпорни на заморе. Полупроизоде, који се користе за израду делова у ваздухопловству, могу да израђују само овлашћени и атестирани произвођачи са потпуном контролом квалитета током свих фаза технолошког процеса.

Полупроизоде морају да имају прописани хемијски састав, металушка и механичка својства, а посебно се проверавају стања површина и евентуално присуство грешке које могу да утичу на функцију и безбедност. [22]

6.2. Оклопна борбена средства

Оклопно борбено средство представља моторно возило заштићено оклопом и наоружано намењено за дејство на циљу при упаду непријатеља. Функција му је уништавање непријатељских живих сила и борбених средстава, као и за вођење противоклопне борбе, борби против циљева у ваздушном простору, превоз и борбу пешадије, извиђање, осигурање, командовање и везу.

Ходни део ове конструкције омогућава оклопном возилу кретање по различитом земљишту. Данашња оклопна возила имају могућност кретања по води.

Прва оклопна возила су оклопна кола, која датирају готово од изума аутомобила. Таква возила углавном су се користила као извиђачка возила, а била су покривена оклопом због заштите посаде. Развој оклопних возила се наставио у Првом светском рату, када на Западном фронту први пут био представљен тенк, машина која је била оклопљена јер је била пројектована да може да издржи поготке из тадашњег пешадијског оружја. Упркос почетним проблемима, тенк се показао као успешан пројекат, а са развојем технологије тенк је постао оружје које може да пређе велике раздаљине великом брзином, већом него што је потребно за подршку пешадији и артиљерији. Потреба обезбеђивања јединица које би се бориле уз тенкове довела је до развоја широког спектра оклопних возила које постоје данас. Већина модерних оклопних возила су у погледу дизајна само наочиглед сличне својим претходницима из Другог светског рата, са знатно бољим оружјем, оклопом, моторима и вешањем. Међутим, уз повећање капацитета транспортних авиона који пружају могућност да се оклопна возила преносе ваздухом, многе војске замењују нека или сва своја традиционална тешка возила са лакшим верзијама, које често користе точкове уместо гусеница.

Главни делови оклопних борбених средстава су:

- Оклоп.
- Гусенице или точкови.
- Оружје.

Оклоп

Ниво оклопне заштите знатно варира између различитих врста оклопних борбених возила. Главни борбени тенк ће нормално бити пројектован да издржи поготке из других тенковских топова и противтенковских ракета, док ће лака извиђачка возила бити слабо оклопљена. Иако тежи оклоп пружа бољу заштиту, оно га чини мање покретљивијим (по јединичној снази мотора), ограничава његов пренос ваздухом, повећава цену, користи више горива и може ограничити места којима тенк може ићи - на пример, многи мостови нису у могућности да поднесу тежину главног борбеног тенка. Тренд је замена челичних оклопа оклопима од легура алуминијума, који за исту масу пружају бољу заштиту, што омогућава тенку да буде лакши од тенка истог степена заштите од челика или боље заштићеним за исту тежину тенка. Оклоп се надограђује активним системима заштите на бројним возилима, што омогућава оклопним возилима да се заштите од надолazeћих пројектила.

Гусенице или точкови

Подела оклопних возила је на точкаше и гусеничаре.

Гусеничари (слика 36) су опремљени гусеницама ради повећања покретљивости и маневарских способности ван путева.



Слика 36. Изглед оклопног борбеног возила на гусеницама [25]

Могу бити различите намене. У ову подкатегорију спадају:

- тенкови и оклопни транспортери намењени за борбу против непријатељске живе силе, оклопних и других борбених средстава;
- артиљеријско-ракетна оруђа за ватрену подршку и противоклопну борбу;
- лаки тенкови и командни оклопни транспортери намењени за извиђање, осигурање и командовање;
- артиљеријско-ракетна оруђа и системи противваздушне одбране намењени за борбу против циљева у ваздушном простору;
- оклопни транспортери за превозење материјала и за санитетске потребе;
- дозери, ровокопачи, тенкови амфибије, тенкови носачи лансирног моста и друга возила намењена за утврђивање, запречавање, превозење других возила и људства преко водених препрека;
- трактори и оклопна возила за извлачење намењени за вучу артиљеријских оруђа, приколица и извлачење возила, тенкови дизалице и сл.

Точкаши (слика 37) представљају моторна возила која се крећу на точковима. Имају једну, две или више осовина, са два, четири или више точкова. Код њих је углавном примењен челик уз додатак одређених легура алуминијума. Точкаши углавном могу бити борбена и неборбена моторна возила као што су различите врсте аутомобила, оклопних аутомобила, камиона, транспортера, ципова и слично.



Слика 37. Моторно борбено возило које се креће помоћу точкова [24]

Оружје

Наоружање такође знатно варира између различитих врста оклопних борбених возила. Лакша возила за транспорт пешадије, извиђање или посебне задатке могу имати само митраљезе као одбрану (или бити уопште без оружја), док ће самоходна артиљерија носити топове великог калибра, минобацаче или бацаче ракета. Ова - лакша возила за ношење, извиђање или специјалне улоге могу имати само поједино наоружање за самоодбрану, док тешка самоходна артиљерија ће носити велике топове, минобацаче или ракетне бацаче. То оружје може бити монтирано на ослонац, директно причвршћено за возило или смештено у куполи.

Варијанте у којима оклопна борбена средства могу бити:

- тенк,
- јуришни топ,
- ловац тенкова,
- оклопна кола,
- оклопни транспортери,
- борбено возило пешадије,
- самоходна артиљерија. [2]

6.2.1. Примена легура алуминијума код оклопних борбених средстава

Примена легура алуминијума присутна је у развоју и модернизацији оклопних борбених средстава код свих наведених варијанти. Због захтева за покретљивошћу и носивошћу потребно је користити лаке материјале високе чврстоће који су погодни за обликовање и заваривање. За израду купола оклопних тела, потпорних и ослоних точкова, делова мотора и допунске балистичке заштите користе се легуре Al-Mg и легуре које садрже у себи Zn тачније Al-Zn-Mg. Примену у изради налази и легура Al-Si-Mg.

Један од главних проблема је питање укупне масе борбеног возила. Напредак у технологији и противтенковској одбрани довео је до захтева за израдом дебљег оклопа и узроковао повећање масе оклопног тела и куполе. Развој у домену материјала довео је

до смањења ове масе. Оклоп је углавном сложен, побољшан, ламиниран или специјалан и чини углавном 45% укупне масе тенка од чега је 75% удео саме куполе. Некада се за израду ових делова користио искључиво челик, а данас алуминијум и његове легуре у комбинацији са керамиком и композитима.

Алуминијумски оклоп користи се првенствено за заштиту борбених возила од стрељачке муниције и парчади артиљеријских пројектила. Фамилија легура Al-Zn-Mg углавном се обрађују термички. Осетљиве су на напонску корозију. Масена ефикасност, која упоређује површинске масе челичног ваљаног панцира задатог нивоа заштите од дејстава изабраног пројектила са површинском масом одређеног типа оклопа истог нивоа заштите, код ове легуре износи 1,4. то омогућава знатну уштеду у маси у односу на некадашњи челични панцир. Легуре Al-Cu нису осетљиве на напонску корозију, али су јако непогодне за процесе заваривања. Уградњом челичних панцира са спољне стране оклопа који се израђују од алуминијумских легура, повећава се ниво заштите.

Алуминијумске легуре за израду купола и оклопног тела нашле су примену како код америчког возила M113 (слика 38) али и на белгијским, швајцарским и на француским борбеним возилима пешадије. Силумини се масовно користе за израду делова мотора за борбена возила (картер, блок, глава, поклопац, корито, пумпе) [16]



Слика 38 Америчко оклопно возило M113 [25]

Клипови мотора велике снаге раде се од отковака алуминијумских легура. У развоју нових оклопних борбених средстава и даље се широко примењују легуре алуминијума. Осим полупроизвода добијених класичном технологијом обликовања, интензивно се ради на освајању композитних материјала са алуминијумском основом. [2]

6.3. Примена легура алуминијума код оруђа и оружја

Оруђе- Ватрено оруђе са калибром цеви већим од 20 mm намењено за уништавање живе силе, и других циљева на копну и на мору. Послужује га више људи. Подела оруђа може да се изврши на следеће начине:

- По намени су:
 - артиљеријска оруђа земаљске артиљерије (пратећа, за подршку, противтенковска),
 - противавионска артиљеријска оруђа,
 - тенковска артиљеријска оруђа,
 - бродска артиљеријска оруђа,
 - обалска артиљеријска оруђа,
 - авионска артиљеријска оруђа.
- По моћи дејства:
 - лака артиљеријска оруђа,
 - средња артиљеријска оруђа,
 - тешка артиљеријска оруђа,
- По балистичким својствима:
 - топ,
 - хаубица,
 - минобацач,
- По степену аутоматизације:
 - аутоматска артиљеријска оруђа,
 - полуаутоматска артиљеријска оруђа,
 - неаутоматска артиљеријска оруђа,
- По могућности транспорта:
 - стална (непокретна) артиљеријска оруђа,
 - покретна артиљеријска оруђа.
- По начину избацавања пројектила:
 - класична артиљеријска оруђа,
 - бестрзајна артиљеријска оруђа,
 - ракетна артиљеријска оруђа,
 - комбинована артиљеријска оруђа (класично-ракетна или бестрзајно-ракетна).

Оружје- Средства намењена за уништавање и онеспособљавање живе силе како појединачних, тако и групних циљева, фортификацијских и других материјалних добара у ратним условима, али и у мирнодопским условима ради превентиве у циљу заштите имовине и људи.

Код оружја и оруђа главни захтев који треба да се обезбеди јесу велика поузданост и мала маса система. Зато се за израду пиштоља, пушака, пушкомитраљеза, аутомата, митраљеза, бацача граната примењују отковци, профили и лимови. Типичан пример су оквир пиштоља за муницију (слика 39.), наставци за цеви, пригушивачи, ножице итд. [2].



Слика 39. Оквир пиштоља за муницију израђен од алуминијума [2]

Код оруђа примена алуминијумских легура је углавном за израду постоља код минобацача (слика 40), калибра 60mm и 81/82mm јер треба да обезбеде високу чврстоћу, што ова оруђа захтевају.



Слика 40. Постоље од алуминијума код минобацача [2]

6.4 Примена алуминијума код војних мостова

Војни борбени мостови (слика 41) намењени су за војне потребе у вандредним ратним условима када је онемогућено прелажење ратног воденог терена због вандредног ратног стања.



Слика 41. Војни мост приликом транспорта на оклопном средству [26]

Примена легура алуминијума код ових типова градње игра велику улогу због корозионе постојаности. У додиру са ваздухом ствара се оксидни слој који може да стоји и неколико дана, чиме је заштита од корозије знатно успорена. Поред основног захтева за малом масом и високом отпорношћу при превеликим оптерећењима, легуре алуминијума у овом случају мора да имају добру заварљивост. Мала маса делова, велика компактност омогућавају лаку манипулацију и транспорт као и добре маневарске способности, у смислу склапања и расклапања у различитим условима експлоатације.

Главну примену овде имају легуре алуминијума са додатком магнезијума као главног легирајућег елемента и легуре алуминијума са цинком, или трокомпонентне легуре у комбинацији алуминијум-цинк-магнезијум. [26]

7. РЕЦИКЛАЖА АЛУМИНИЈУМА

Свака активност како у процесу производње тако и у процесу потрошње, доводи до настанка отпада. На количину отпада у једној држави утичу: број становника, обим и природа индустријских грана, као одговарајући ниво управљања отпадом. 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. Развитак поступака рециклаже алуминијума годинама је развијан, како би се достигао најпогоднији процес. Као резултат свега тога, добило се напредовање на пољу очувања животне средине.

Најважнији задатак је очување животне средине, које се своди на контролу поваћања 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 фактори 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.

Овакав ток животног циклуса алуминијума као материјала у индустрији упућује на следеће врсте рециклирања:

- Рециклирање пре употреба (током производње).
- Рециклирање током употреба.
- Рециклирање након употребе производа.

Рециклирање током производње ствара минималне потешкоће, зато што 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 уставри 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.

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. [27]

8. ЗАКЉУЧАК

Због већине својих карактеристика алуминијума је изузетан метал и због тога има широку примену у свим областима индустрије. Распрострањена примена легура алуминијума у војној индустрији је због његовог лаког добијања електрометалушким поступцима из полазних руда боксит , при чему се добија технички чист алуминијум погодан за легирање различитим елементима.

Додатком легирајућих елемената побољшавају се како механичка својства, тако и физичка, хемијска, топлотна... Дobar 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. Поред тога, алуминијум је лакши од конвенционалних челика, што омогућава смањење тежине оклопних возила, делова наоружања код оружја/оруђа, делова војних авиона код којих је најважнија конструкција ради искоришћења максималних могућности.

Предност се огледа и у могућности рециклирања овог материјала, тако да фактички алуминијум кружи кроз војну индустрију у облику секундарних сировина, где је смањење отпада сведено на минимум и заштићена је са те стране животна средина.

Данас се поред алуминијума користе и савремени материјали, приближне густине и тежине као алуминијум. Ту спадају композитни материјали који имају мању масу од алуминијума, што је главна ставка у свим гранама индустрије, мада њихова примена није заузела место алуминијуму већ се врши комбинација овде две врста материјала и добија се поуздана конструкција. Примену алуминијума не одређују само његове карактеристике већ и економски фактори, тј. цена коштања. Алуминијум припада категорији скупљих метала.

9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] М. Јовановић, Д. Адамовић, В. Лазић, Н. Ратковић: Машински материјали, Крагујевац 2003; 14.06.2017
- [2] Професор пук. др. М. Цветковић, професор пук. Др Б. Перме: Конструкција оруђа и оружја, Београд 2001
- [3] Група аутора.: Алуминијски материјали, Загреб, 1985 ; 26.06.2017
- [4] Проф.др Владимир Вујичевић,пуковник; Корозија и заштита метала, Београд 2002.; 27.07.2017.
- [5] <https://sr.wikipedia.org/sr/Алуминијум> ; 14.06.2017
- [6] <https://sr.wikipedia.org/Боксит>; 14.06.2017
- [7] <http://www.ad-boksit.com/rudarstvo>; 26.06.2017
- [8] <https://bg.wikipedia.org/wiki/Нефелин>; 26.06.2017
- [9] <https://en.wikipedia.org/wiki/Alunite>; 26.06.2017
- [10] <https://en.wikipedia.org/wiki/Kaolinite>; 26.06.2017
- [11] <https://beleske.com/aluminijum/>; 26.06.2017
- [12]<http://www.sraspopovic.com/sa%20prve%20strane/Baza20znanja%20metalurgija.htm>; 26.06.2017
- [13] <http://www.stari.tehnickaue.edu.rs/srp/cas/?conid=291>; 15.07.2017
- [14] <https://sr.wikipedia.org/sr-el/Livenje> ;10.08.2017.
- [15] <http://www.zavarivanje.info/cd/3563/zavarivanje-aluminija-literatura>; 10.08.2017
- [16] <http://www.vti.mod.gov.rs/ntp/rad1999/993/veljanovic/velj.pdf> ;27.08.2017
- [17]https://sh.wikipedia.org/wiki/Hawker_Hurricane#/media/File:Yu_Hurricane.jpg; 27.08.2017
- [18] <http://idesh.net/report/najbolji-vojni-avioni/>; 27.08.2017
- [19] http://zonwar.ru/news2/news_212_M113.html; 04.09.2017
- [19] https://sr.wikipedia.org/sr/media/File:Vickers_Wellington_Mark; 27.08.2017
- [20] <https://sr.wikipedia.org/sr/trup>; 10.09.2017
- [21]<http://nationalinterest.org/blog/the-buzz/russias-mig-21-the-fighter-jet-could-fly-100-years-21180>; 15.09.2017
- [22] <https://sr.wikipedia.org/sr/krilo>; 20.09.2017

- [23] <https://sr.wikipedia.org/sr-elMig-23>; 20.09.2017
- [24] <https://sr.wikipedia.org/sr-oklopnovozilo>; 20.09.2017
- [25] <https://sr.wikipedia.org/wiki/tenk>; 21.09.2017
- [26] <https://sr.wikipedia.org/wiki/borbenimost>; 20.09.2017
- [27] <http://www.cqm.rs/2009/pdf/4/04.pdf>; 20.09.2017