

**Факултет инжењерских наука**

**Универзитета у Крагујевцу**



**Назив студијског програма: Машинско инжењерство**

**Ниво студија: Основне академске студије**

**Модул: Енергетика и процесна техника**

**Предмет: Машински материјали**

**Број индекса: 92/2010**

**Ана Ј. Лазовић**

# **Примена алуминијума и његових легура у аутомобилској индустрији**

**завршни рад**

**Комисија за преглед и одбрану:**

**1. Проф. Др Драган Адамовић - ментор**

**2. \_\_\_\_\_**

**3. \_\_\_\_\_**

**Датум одбране: \_\_\_\_\_**

**Оцена: \_\_\_\_\_**

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да да преглед развоја и употребе алуминијума и његових легура. На почетку објаснити поступак добијања алуминијума. Затим описати легуре алуминијума и њихова главна својства. У даљем делу рада описати обрадивост алуминијума и његових легура и дати примере примене алуминијума и његових легура у аутомобилској индустрији.

**Оквирни садржај рада:**

Предговор

1. Увод

2. Добијање алуминијума

3. Легуре алуминијума

4. Особине алуминијума и његових легура

5. Обрадивост алуминијума и његових легура

6. Примена алуминијума и његових легура у аутомобилској индустрији

7. Закључак

Литература

**Препоручена литература:**

- [1] М. Јовановић, Д. Адамовић и др.: Машински материјали, Крагујевац 2003.
- [2] Девеџић. Б.: Машински материјали II, Машински факултет у Крагујевцу, 1980.
- [3] Ђорђевић В.: Машински материјали – први део, Машински факултет, Београд, 1999.
- [4] Ђукић В.: Машински материјали, Крагујевац, 1994.
- [5] Лучић Р.: Машински материјали, Научно инжењерство, II издање, "Вук Караџић", Параћин, 1995.
- [6] <http://www.alueurope.eu/aam/>

Крагујевац, април 2014.

Ментор:

др Драган Адамовић, ред. проф.

---

## **Резиме**

У овом раду, описани су алуминијум и његове легуре, као и њихова примена у аутомобилској индустрији. Дати су примери где се прво користио алуминијум и његове легуре. Такође је дата класификација легура алуминијума према начину израде, намени и према броју легирајућих елемената. Овим радом, описане су разне методе обраде алуминијума и његових легура. Приказана је примена алуминијума и његових легура у аутомобилској индустрији, за производњу делова аутомобила.

**Кључне речи:** Алуминијум, легуре алуминијума, аутомобилска индустрија

Aluminum and its alloys are described in this paper, likewise their usage in automotive industry. The paper contains examples where the aluminum and its alloys were first used, as well as classification of alloys of aluminum according to the way of production, its purpose and the number of elements that can alloy with aluminum. Various methods of treating aluminum and its alloys are given in the paper. The usage of aluminum and its alloys in automotive industry, for production of automobile parts are also described.

**Key words:** Aluminum, alloys of aluminum, automotive industry

## САДРЖАЈ

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Увод .....</b>                                                         | <b>6</b>  |
| <b>2. Добијање алуминијума .....</b>                                         | <b>7</b>  |
| 2.1. Минерали и руде .....                                                   | 8         |
| 2.1.1. Боксити.....                                                          | 8         |
| 2.1.2. Нефелини .....                                                        | 10        |
| 2.1.3. Алунити.....                                                          | 10        |
| 2.1.4. Каолини.....                                                          | 10        |
| 2.2. Особине индустријске глинице за електролотичко добијање алуминијума ... | 10        |
| 2.3. Класификација поступака за добијање глинице .....                       | 10        |
| 2.3.1. Бајеров поступак за добијање глинице .....                            | 11        |
| 2.4. Примарни алуминијум.....                                                | 11        |
| 2.5. Секундарни алуминијум .....                                             | 13        |
| <b>3. Легуре алуминијума.....</b>                                            | <b>15</b> |
| 3.1. Технички чист алуминијум .....                                          | 15        |
| 3.2. Легуре алуминијума.....                                                 | 15        |
| 3.2.1. Подела легура алуминијума.....                                        | 15        |
| 3.2.2. Фамилије легуре алуминијума са Mn, Mg, Si, Zn и Cu .....              | 16        |
| 3.2.2.1. Легуре са манганом .....                                            | 16        |
| 3.2.2.2. Легуре са магнезијумом.....                                         | 17        |
| 3.2.2.3. Легуре са бакром .....                                              | 17        |
| 3.2.2.4. Легуре са силицијумом и магнезијумом .....                          | 17        |
| 3.2.2.5. Легуре са цинком и магнезијумом.....                                | 17        |
| 3.2.3. Легуре за обраду деформацијом.....                                    | 17        |
| 3.2.3.1. Легуре које се термички не обрађују (некаљиве).....                 | 18        |
| 3.2.3.2. Легуре ојачане термичком обрадом (каљиве).....                      | 19        |
| 3.2.4. Легуре алуминијума за ливење.....                                     | 24        |
| 3.3. Означавање легура алуминијума.....                                      | 27        |
| 3.3.1. Серије легура алуминијума.....                                        | 27        |
| 3.3.2. Додатне ознаке .....                                                  | 27        |
| 3.3.3. Значење додатних ознака .....                                         | 27        |
| <b>4. Особине алуминијума .....</b>                                          | <b>28</b> |
| 4.1. Физичке, хемијске, геохемијске и механичке особине алуминијума .....    | 28        |

|           |                                                                              |           |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1.1.    | Физичке особине алуминијума.....                                             | 28        |
| 4.1.1.1.  | Атомска структура .....                                                      | 29        |
| 4.1.1.2.  | Кристална структура .....                                                    | 29        |
| 4.1.1.3.  | Густина .....                                                                | 29        |
| 4.1.1.4.  | Јачина.....                                                                  | 29        |
| 4.1.1.5.  | Отпорност на корозију .....                                                  | 30        |
| 4.1.1.6.  | Топлотна проводљивост .....                                                  | 30        |
| 4.1.1.7.  | Електрична проводљивост.....                                                 | 30        |
| 4.1.1.8.  | Рефлексија и емисија.....                                                    | 30        |
| 4.1.2.    | Хемијске особине алуминијума.....                                            | 31        |
| 4.1.3.    | Геохемијске особине алуминијума .....                                        | 32        |
| 4.1.4.    | Механичке особине алуминијума .....                                          | 32        |
| <b>5.</b> | <b>Обрадивост алуминијума и његових легура .....</b>                         | <b>33</b> |
| 5.1.      | <i>Обрада алуминијума и његових легура одвајањем честица .....</i>           | <i>33</i> |
| 5.1.1.    | Обрада алуминијума и његових легура стругањем .....                          | 34        |
| 5.1.2.    | Обрада алуминијума и његових легура глодањем.....                            | 35        |
| 5.1.3.    | Обрада алуминијума и његових легура рендисањем .....                         | 36        |
| 5.1.4.    | Обрада алуминијума и његових легура брушењем .....                           | 37        |
| 5.1.5.    | Обрада алуминијума и његових легура сечењем.....                             | 37        |
| 5.1.6.    | Обрада алуминијума и његових легура бушењем .....                            | 37        |
| 5.1.7.    | Обрада алуминијума и његових легура - нарезивање навоја .....                | 37        |
| 5.1.8.    | Обрада алуминијума и његових легура турпијањем .....                         | 37        |
| 5.2.      | <i>Заварљивост алуминијума и његових легура .....</i>                        | <i>38</i> |
| 5.2.1.    | Захтеви за заварљивост и заварене спојеве .....                              | 38        |
| 5.3.      | <i>Обрада алуминијума пластичном деформацијом.....</i>                       | <i>39</i> |
| 5.4.      | <i>Обрада алуминијума и његових легура ливењем .....</i>                     | <i>39</i> |
| 5.5.      | <i>Обрада алуминијума и његових легура термичком обрадом.....</i>            | <i>40</i> |
| <b>6.</b> | <b>Примена алуминијума и његових легура у аутомобилској индустрији .....</b> | <b>41</b> |
| 6.1.      | <i>Алуминијум у шасији и вешању .....</i>                                    | <i>44</i> |
| 6.1.1.    | Шасија .....                                                                 | 44        |
| 6.1.1.1.  | Дизајн и концепт шасије .....                                                | 45        |
| 6.1.2.    | Вешање.....                                                                  | 45        |
| 6.1.2.1.  | Дизајн и концепт вешања .....                                                | 46        |
| 6.1.2.2.  | Делови вешања .....                                                          | 46        |
| 6.1.2.3.  | Подрамови.....                                                               | 48        |
| 6.2.      | <i>Точкови .....</i>                                                         | <i>51</i> |
| 6.2.1.    | Ливење алуминијумских точкова.....                                           | 54        |

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 6.3. Управљачки систем - волан .....                        | 55 |
| 6.4. Кочиони систем.....                                    | 56 |
| 6.4.1. Алуминијум у кочионом систему.....                   | 56 |
| 6.4.2. Компоненте кочионог система .....                    | 57 |
| 6.4.3. Дискови и добоши.....                                | 58 |
| 6.5. Погонски механизам.....                                | 58 |
| 6.6. Клипови.....                                           | 60 |
| 6.6.1. Дизајн разматрања за аутомобилске клипове .....      | 61 |
| 6.7. Блок мотора .....                                      | 62 |
| 6.8. Облоге за цилиндри.....                                | 64 |
| 6.8.1. Применљиве технологије .....                         | 65 |
| 6.8.2. Монолитни концепт алуминијума (ALUSIL®).....         | 66 |
| 6.9. Глава мотора.....                                      | 67 |
| 6.10. Систем протока горива .....                           | 69 |
| 6.10.1. Цев за пуњење резервоара горивом .....              | 69 |
| 6.10.2. Цеви за развод горива.....                          | 70 |
| 6.10.3. Резервоар горива .....                              | 71 |
| 6.10.4. Технички захтеви .....                              | 71 |
| 6.11. Топлотна изолација.....                               | 72 |
| 6.11.1. Избор легура алуминијума за топлотну изолацију..... | 73 |
| 6.11.2. Дизајн топлотне изолације.....                      | 74 |
| 6.12. Размењивачи топлоте.....                              | 75 |
| 6.13. Остале компоненте мотора.....                         | 78 |
| 6.13.1. Колектори и кућишта трансмисија.....                | 78 |
| 6.13.2. Карбуратор.....                                     | 79 |
| 6.13.3. Поклопац главе мотора.....                          | 79 |
| 6.13.4. Картери (судови за уље).....                        | 80 |
| 6.13.5. Пумпе .....                                         | 81 |
| 6.13.6. Усисна грана.....                                   | 81 |
| 6.14. Браници.....                                          | 82 |
| 6.15. Каросерија.....                                       | 83 |
| 6.16. Пренос и погонска група.....                          | 85 |
| 6.16.1. Кућишта за компоненте погонске групе.....           | 85 |
| 6.16.2. Алуминијумска погонска вратила.....                 | 85 |
| 7. Закључак.....                                            | 87 |

## 1. Увод

Алуминијум (Al) је хемијски елемент треће групе периодног система елемената са редним бројем 13 и атомском масом 26,98. Слободних изотопа нема. Алуминијум је метал сребрно-беле боје, трећи је по распрострањености од свих елемената који се јављају на површини Земље, само кисеоника и силицијума има у већим количинама од алуминијума.

Припада групи лако обојених метала, јер је густина алуминијума  $2.7\text{g/cm}^3$ , што значи да је око три пута лакши од гвожђа, чија је густина  $7.874\text{g/cm}^3$ . Алуминијум је један од најважнијих састојака земљине коре. Он се као и већина других метала не налази у природи у елементарном стању, него најчешће као оксид помешан са оксидима других елемената (гвожђе, силицијум, титан и други)

Алуминијум се као материјал не може наћи у природи и први пут га је добио Ханс Кристијан Ерстед (1777-1851), дански физичар и хемичар. Хамфри Дејви је, међутим, изоловао алуминијумов оксид 1809. године и назвао га "алуминум", како се и данас зове у Северној Америци.

Алуминијум је, један од најчешћих елемената у Земљиној кори, а различито драго камење – сафир и рубин – су његова једињења. Процес издвајања алуминијума, који је користио Ерстед, био је веома скуп, тако да је алуминијум сматран полу-драгоценим металом. На светској изложби у Паризу, 1855. године, представљен је као "сребро из глине".

Нов продор алуминијума настао је 1886. године, када су Чарлс Мартин Хол, у САД-у и Л.Т. Еро, у Француској, истовремено открили економичан начин добијања алуминијума, који се користи и данас. Процес се састојао у електролизи пречишћеног оксида алуминијума у отопљеном криолиту, који се смештао у челичну посуду са угљеничним шипкама. Посуда је коришћена као катода, а угљеничне шипке уроњене у отопљену супстанцу представљале су аноду.

Алуминијумов оксид се у траговима налази готово у свим минералима, али као такав нема економично значење. Једина руда из које је могућа економичнија експлоатација алуминијума је боксит. Из разлога што има велики афинитет према кисеонику, користи се у процесу добијања метала из његових руда. Наиме, због те своје особине, истисни метал који желимо да добијемо сам се везује са кисеоником. Такав поступак добијања метала се зове *алуминотермија*.

Алуминијум се много користи у облику легура које имају повећану чврстоћу и јединствене особине: лакоћу, високу термичку и електричну проводљивост, отпорност на корозију и нетоксичност. Има широку примену у саобраћајној индустрији, а једна од првих примена, везана је за немачки ваздушни брод Цепелин, у Првом светском рату, који је израђен из дуралуминијума, легуре пронађене 1906. године, чија је тежина износила, једну трећину тежине челика.

каблова). Такође, користи се и за потребе пречишћавања отпадних и других вода, у космичкој технологији и сл. Са титаном, бакром, магнезијумом, цинком, берилијумом и другим елементима алуминијум гради легуре које су високе механичке чврстоће и тврдоће.

Међутим, алуминијум, се много користи и у грађевинској индустрији – статуа Ероса на Пикадилију у Лондону. Такође и за производњу аутомобила, авиона и бродова. Употребљава се за посуђе, као и носаче високог напона. Користи се и у медицини, као лек против стомачног чира и против знојења. У последње време, много се користи и у свемирској техници. Многи минерали који садрже алуминијум спадају у драго или полудраго камење.

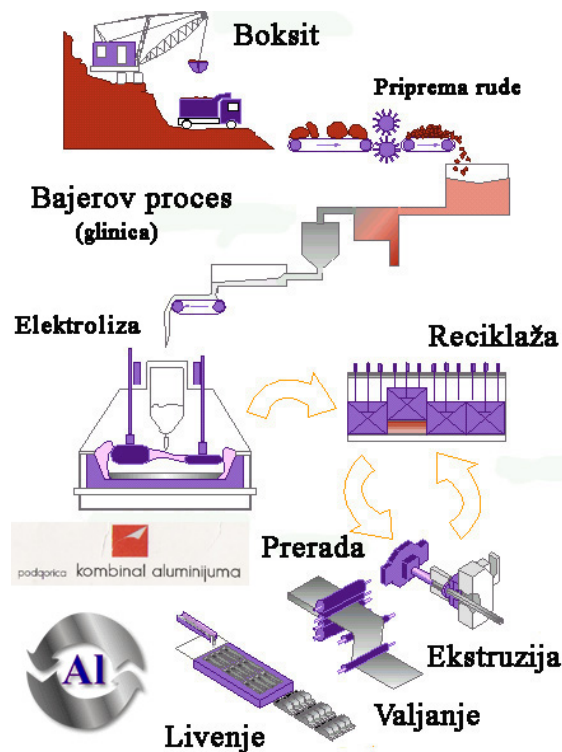
## 2. Добијање алуминијума

Алуминијум се у природи не среће у самосталном облику, већ у облику различитих минерала којих има веома много. Иако их, према подацима, има 250 не користе се сви као руде за добијање алуминијума. Основна руда из које се електрометалуршким методама добија Al је боксит у коме је алуминијум везан у облику хидроксида, мада се користе и друге руде као што су апатит, алунит и кианит. Упрошћена шема добијања алуминијума из боксита састоји се из следећих главних операција:

- млевења и печења боксита,
- растварања у натријумхидроксиду у аутоклавима при чему се добија лужина натријумалумината,
- добијања бистре лужине и ослобађања од јаловине,
- добијање и топљење хемијски скоро чисте глинице ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) са криолитом,
- електролизе растопа са издвајањем металног алуминијума у течном стању. Течни алуминијум се затим претапа у графитним лонцима и лије.

Овако добијени Al се назива топионички или технички Al чистоће 99 –99,8%. Алуминијум високе чистоће, 99,99%, се добија електролитичком рафинацијом, а користи се за заштиту и израду делова који су изложени корозији.

*Хал-Хероулт* процес је пример процеса топљења алуминијума и индустријски је користан. Алуминијум не може бити произведен воденом електролизом јер је водоник електрохемијски много племенитији од алуминијума.



Слика 2.1 Производња алуминијума

У неким топионицама резервна топлота се користи за топљење рециклираног метала, која се затим помеша са новим металом. Рециклирани метал захтева само 5% потребне енергије да би се добио нови метал. Мешање рециклираног метала са новим металом

омогућава значајну уштеду енергије, као и ефикасно коришћење добре топлоте на располагању. Када је реч о квалитету, не постоји разлика између примарног метала и рециклираног метала. На слици 2.1. приказана је производња алуминијума.

Поступци прераде Al -легура су:

- ваљање (у врућем или хладном стању),
- пресовање или истискивање (у врућем стању),
- ковање (у врућем или хладном стању),
- вучење (у хладном стању),
- извлачење (у хладном стању).

## 2.1. Минерали и руде

Савремена технологија производње алуминијума има две главне фазе:

- Прераду алуминијумских руда у техници чистог оксида алуминијума (глиница),
- Редукцију електролитног алуминијумовог оксида

Алуминијум у природи гради велики број минерала. Осим сопствених, који се сматрају и основним изворима за његово добијање, познат је и у великом броју петрогених минерала магматских, седиментних и метаморфних стена. Најзаступљенији је у минералима из групе алумосиликата.

### 2.1.1. Боксити

Боксит, који можемо видети на слици 2.2. а, је најважнија руда алуминијума из које се данас добија скоро целокупна светска производња глинице и алуминијума. По хемијском саставу, боксит је сложена поликомпонентна сировина. Основне компоненте у њима су минерали: алуминијума, гвожђа, силицијума, титана, калцијума и магнезијума. По правилу, боксит увек садржи органске супстанце и мање или веће количине сумпора. Квалитет боксита, у смислу коришћења за производњу глинице, углавном се одређује садржајем  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$ . Што је садржај  $Al_2O_3$  већи, а садржај  $SiO_2$  мањи, боксит је бољег квалитета и обрнуто.

Према Бауеровом поступку производње глинице, коју можемо видети на слици 2.2. б, данас се сматра да је боксит са модулом 10 квалитетан, са модулом 8-10 таквог квалитета да се може прерађивати, и са модулом испод 8 лошег квалитета чија прерада није економски оправдана ( $Si$  модул= $\%Al_2O_3/\%SiO_2$ ).



а)

б)

Слика 2.2 а)боксит; б)глиница

Алуминијум је у бокситу присутан у облику хидратисаних оксида:

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

Поред ових минерала алуминијум се у бокситу, у мањој мери, може налазити у виду корунда  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и различитих алумо-силиката.

Боксити могу бити:

1. *Монохидратни боксити*, то су боксити којима припадају:

- дијаспорски,
- бемит-дијаспорски са преовлађивањем дијаспора,
- каолинитско-дијаспорски,
- хлоритскодијаспорски,
- бемитски и
- каолинит-бемитски боксити.

Ови боксити су гвожђевити са примесама каолинита, хлорита, калцита, сидерита, пирита, гибсита и ретко корунда.

2. *Трихидратни боксити*, то су боксити којима припадају:

- гибситски,
- каолинит-гибситски,
- халојзит-гибситски и
- алофангибситски боксити.

За поменути тип боксита је карактеристично да могу бити са великим или врло малим концентрацијама гвожђа, као и променљивим концентрацијама каолинита, бемита и микрокорунда.

3. *Боксити, мешавине моно и трихидратних боксита*, а то су:

- гибситско-бемитски.

Својим својствима се битно разликују, што је од пресудног значаја због употребљивости за прераду у технички  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , који је намењен за производњу примарног алуминијума. Квалитет боксита зависи од садржаја  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и осталих компоненти, а нарочито од садржаја  $\text{SiO}_2$ .

Састав боксита за техничко добијање алуминијума варира у распонима:

- Оксид алуминијума ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) од 55 до 65%,
- Оксид гвожђа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) до 28%,
- Оксид силицијума ( $\text{SiO}_2$ ) до 7%,
- Оксид титана ( $\text{TiO}_2$ ) до 4%,
- Губитак загревањем од 12 до 30%.

Све остале руде из којих се покрива свега око 1% светске производње алуминијума, су силикатни минерали, познати под називима каолин, алунит, нефелин, као и базни калијум-алуминијумов сулфат алунит.

### **2.1.2. Нефелини**

Нефелини су по значају друга руда алуминијума, од које се комплексном прерадом у индустријском обиму производи глинаца. Нефелин у свом саставу поред  $\text{Al}_2\text{O}_3$  садржи и оксиде алкалних метала  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$  који се комплексном прерадом полазне сировине добијају као корисни производи.

### **2.1.3. Алунити**

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

### **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 обogaћује у циљу добијања богатије сировине, која се може користити за добијање глинице и алуминијума.

## **2.2. Особине индустријске глинице за електролотичко добијање алуминијума**

Глинаца за производњу алуминијума треба да задовољи одређене услове. Неопходно је да има висок степен чистоће, са што мањим садржајем оксида метала који су електропозитивнији од алуминијума ( $\text{Fe}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ), јер се ти метали у процесу електролизе издвајају заједно са њим на катоди и погоршавају његове особине. Исто тако садржај оксида електронегативнијих метала ( $\text{Na}_2\text{O}$  до 0.5%) и воде (до 1%), мора бити ограничен јер мењају састав електролита. У циљу успешног растварања глиница мора да буде одређене гранулације. Сувише крупна глинаца пропада кроз електролит и таложи се на дно електролизера. Сувише ситна споро се раствара или повећава механичке губитке.

## **2.3. Класификација поступака за добијање глинице**

Од постојећих поступака, најширу примену и највећи значај у индустријској пракси производње имају базни поступци. Помоћу њих се данас производи преко 95% укупне продукције глинице у свету. Код базних поступака, постоји више варијанти од којих су најзначајније:

- хидро – металуршке (Бајеров поступак),
- суви алкални (Синтеров поступак).

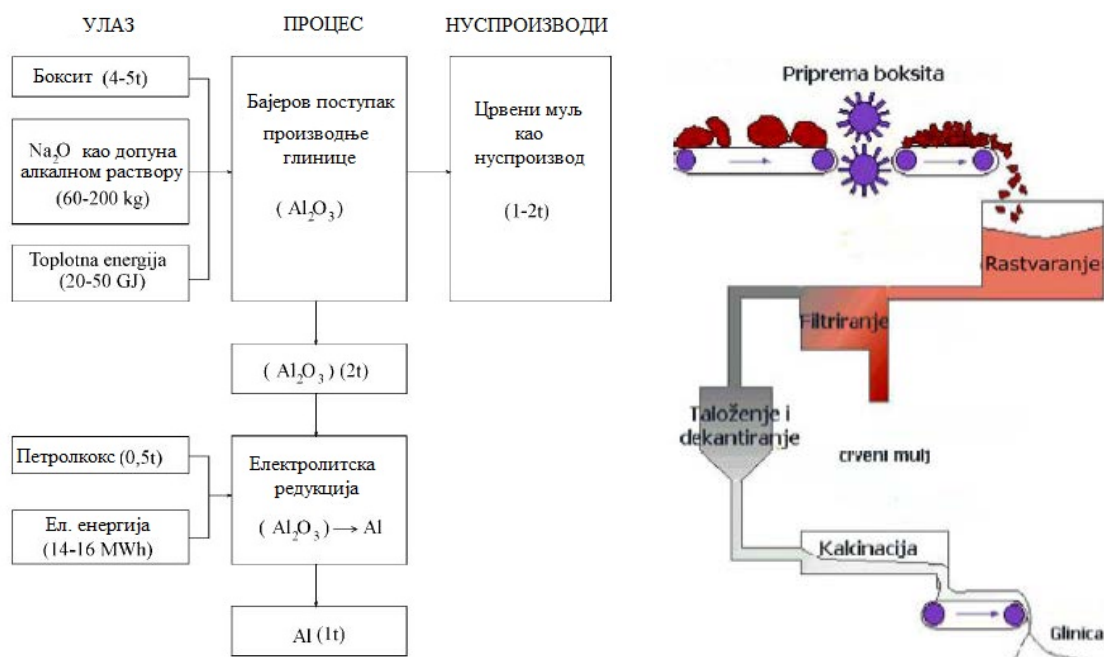
Суштина и једног и другог поступка, своди се на третирање полазне сировине боксита натријумовим базама ( $\text{NaOH}$  или  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) у циљу превођења алуминијума из алуминијум – оксида у натријум – алуминат, који је растворљив у води. Алуминатни раствор се затим одваја од остатка лужења (црвеног муља) и подвргава се процесу разлагања издвајањем чврстог алуминијум – хидроксида уз регенерацију базе. Раствор са регенерисаном базом се враћа у процес, док се алуминијум - хидроксид преводи у безводну глиницу. За

квалитетне боксите, којих данас има довољно, ниједан базни поступак није конкурентан Бајеровом поступку.

### 2.3.1. Бајеров поступак за добијање глинице

Хидрометалуршки Бајеров поступак данас је основни и доминирајући поступак за производњу глинице. Његовом применом производи се око 90% глинице у свету. Оваква масовна заступљеност Бајеровог поступка, присутног преко 100 година у индустријској пракси, може се објаснити пре свега чињеницом да се у природи још увек налазе велике количине квалитетних, нискосилицијалних боксита. За прераду таквих боксита Бајеров поступак је најекономичнији, релативно једноставан и обезбеђује производњу глинице високог квалитета. Овај поступак, је разрадио у периоду од 1887 – 1892. године, аустријски хемичар Карл Јосеф Бајер, по коме је и добио име. У периоду од открића овог поступка до данас, паралелно са развојем науке и технике, Бајеров поступак је усавршен и доведен до високог техничког нивоа с технолошким показатељима блиским теоријским вредностима.

Основни захтев који боксит треба да испуни прерађивањем по овом поступку и који би био економски оправдан је низак садржај  $\text{SiO}_2$  у границама 5 – 8%. Основна технолошка шема Бајеровог поступка приказана је на слици 2.3.



Слика 2.3 Бајеров поступак добијања глинице

## 2.4. Примарни алуминијум

Технолошки принцип производње примарног алуминијума, базира се на редукцији оксида алуминијума у алуминијум.

Проблем високе тачке топљења  $\text{Al}_2\text{O}_3$  /2000°C/, решен је тако што он у смеши са **криолитом** прелази у тачку топљења од 950°C. Алуминијум се из те тачке топљења одваја електролизом на такозваном, **катодном дну** или **катоди** и на њему остаје одвојен из тачке топљења због своје веће густине.

Кисеоник, који се у процесу одваја на **аноде**, реагује са угљеником из аноде и прелази у CO или  $\text{CO}_2$  и у том облику напушта електролитску ћелију.

Електролиза глинице се одвија у кадама, које се називају **електролитске ћелије**. Напајају се истосмерном струјом, јачине до 30000 до 150000 А.

Конструкцијски, постоје само три основна типа електролитских ћелија, које су приказане на слици 2.4.

Прикључни напон ћелија износи од 4,0 до 4,5 V, од чега, свега 1,7 V отпада на напон разлагања, односно, део електрохемијског рада.

Теоретски, са 1000 Ah, може се добити 0,335 kg алуминијума. Ефективно искоришћење струје при електролизи износи 85 до 90%.

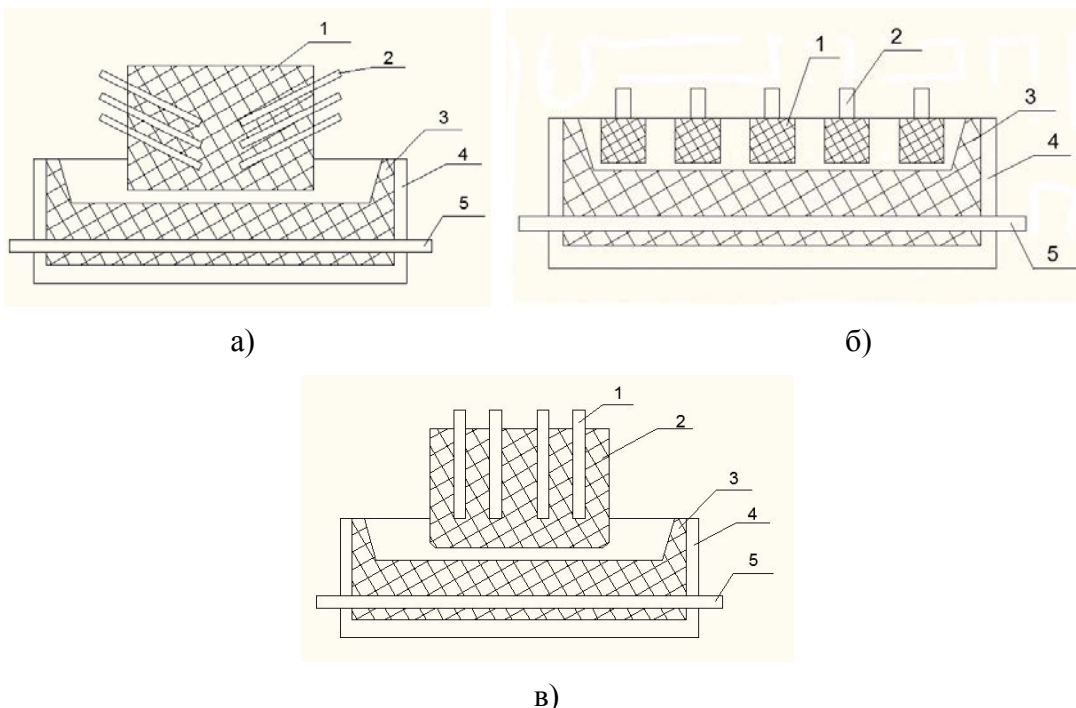
Ћелије су међусобно спојене са исправљачима, путем алуминијумских водича великог пресека. Ради искоришћења напона исправљача, ћелије су електрично серијски спојене у низове 100 до 200 комада. У случају потребе ћелије да се премости, могу се појединачно искључивати.

У електролитску ћелију, се, поступно како тече редукција, додаје глиница и електролит. Због тога је прво потребно пробити стврднуту кору на површини. Пражњење алуминијума са дна врши се исисавањем одговарајућом вакуум посудом.

Најважнији показатељи утрошка енергије и материјала за процес су:

- истосмерна електрична енергија од 13700 до 16000 kWh/t,
- глиница 1900 kg/t,
- криолит и Al-флуорид од 45 до 60 kg/t,
- анодна маса од 500 до 550 kg/t.

Завршна фаза производње примарног алуминијума се обавља у, такозваним, **пећима за одстрањивање** код којих капацитети варирају од 5 до 20 t по једном пуњењу. У њима се, поред хомогенизације улошка, врши и дезоксидација. На крају се врши ливење у полуге масе 15 до 20 kg/ком.



**Слика 2.4** Типови електролитских ћелија. а) са блок анодама; б) са самопечивим анодама и хоризонталним анодним проводницима; в) са самопечивим анодама и вертикалним анодним проводницима. 1. Аноде; 2. Анодни доводници струје; 3. Катодне (катодно дно); 4. Топлотна изолација; 5. Катодни проводници струје

## 2.5. Секундарни алуминијум

За разлику од примарног алуминијума, секундарним алуминијумом се сматра онај добијени из отпадака насталих прерадом и употребом алуминијума.

Економска оправданост, поготово у раздобљу енергетске кризе, намеће се чињеницом да потребна енергија за растопљену електролизу глинице износи 15000 до 18000 kWh/t, а за добијање из отпадака у просеку око 3 до 5000 kWh/t.

Секундарни алуминијум се првенствено усмерава за производњу ливених легура, јер се у савременим топионичким постројењима потпуно равноправно производи као и из примарног алуминијума. Од 70 до 75% примарног алуминијума, уграђеног у потрошну робу, након истрошења или употребе, може се поново искористити као секундарни алуминијум. Из овога су издвојени алуминијумски производи као: прах, пасте, гранулат, наноси (боје) и редукујућа средства.

Према употребном веку трајања, производи из алуминијума, деле се на:

- краткотрајне (1 – 2 године), као на пример: фолије, тубе и остала средства за паковање,
- средње трајне (3 – 7 година), као на пример: посуђе и транспортна средства,
- дуготрајне (преко 8 година), као на пример: алуминијум у електроници и грађевинарству.

Вредност отпадака се врши према следећем критеријуму:

- хемијски састав:
- отпаци чистог Al,
- отпаци легура алуминијума,
- без Cu или без Zn,
- са садржајем Cu, Zn, Si или Mg.
- врсте легура с обзиром на претходну употребу:
- легуре настале ливењем,
- легуре настале гњечењем.
- порекло:
- циркулациони отпад прерађивачке индустрије (претежно сортиран),
- сакупљени отпад (претежно несортиран).
- облик и величина:
- велики комади,
- ситни комади, пакетирани или расути.

Технолошки поступак прераде отпадака има следеће основне фазе:

- складиштење
- припрема
- металуршка обрада

Комадни отпаци, могу се складиштити на отвореном, али код комада велике површине може након дужег стајања доћи до појаве корозије. Припрема отпадака почиње

сортирањем и то према хемијском саставу. То омогућава лакшу прераду, смањује губитке и трошкове производње.

Код несортираних отпадака, осим гвоздених комада који се одстрањују магнетским путем, примењује се ручно сортирање, а код ситних отпадака користе се траке за сортирање. Крупни комади се, у циљу лакшег дозирања у пећи, уситњавају на један од следећих начина:

- ударним дробилицама,
- механичким маказама за отпатке (цевни, профилни лимови),
- тестерама са тракама,
- електричним резним апаратима,
- аутогеним резним апаратима (употреба за танке материјале због добре топлотне проводљивости алуминијума).

Алуминијумска струготина чини око 25% отпада, који се рециклира у пећима за топљење. Она обично садржи следећа загађења:

- |                     |              |
|---------------------|--------------|
| – прашина           | од 3 до 8%,  |
| – уљне масноће      | од 3 до 10%, |
| – струготина гвозђа | од 2 до 8%,  |
| – влага             | од 4 до 7%.  |

У односу на друге врсте отпадака, код алуминијумске струготине нужна је операција сушења ради уклањања влаге, масноће и емулзије.

У специфичну врсту отпада спадају отпатци алуминијумске фолије. То је глатка или "чиста" фолија, обојена, оклопљена воском, лепком или пластичним наносима.

### 3. Легуре алуминијума

#### 3.1. Технички чист алуминијум

Технички чист алуминијум (Al 99.5) добро проводи електричну струју, па алуминијумске жице служе за пренос електричне струје на далеководима или ниско напонској мрежи. С обзиром на малу јачину жица од чистог алуминијума, за далеководе се користе комбинована челично – алуминијумска ужад. Јачина челичне жице достиже 1200МПа, а око ње су уплетене алуминијумске жице.

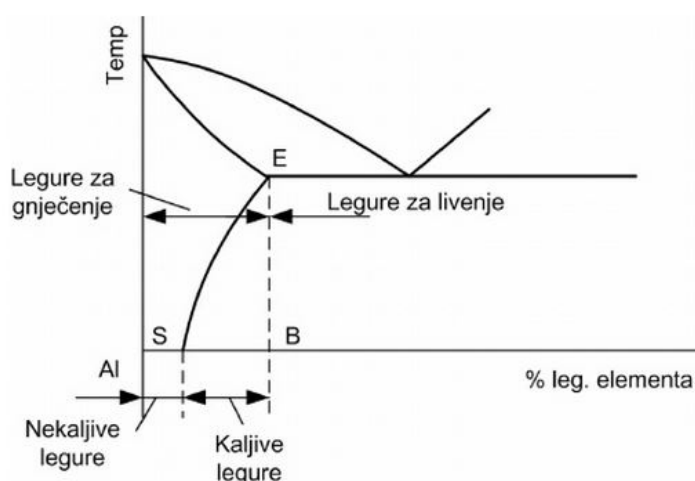
Добра топлотна проводљивост, као и велика отпорност алуминијума на деловање знатног броја хемикалија и животних намирница, довела је до његове широке примене у хемијској и прехранбеној индустрији, као и у домаћинству. Сем тога, алуминијум се користи као дезоксидатор у металургији челика.

Добра корозиона отпорност алуминијума често се вештачки поправља поступком елоксирања, тј. повећањем дебљине оксидног слоја  $Al_2O_3$ , који у ствари штити од корозије. Тако да, дебљина достиже 10 $\mu$ m, што је углавном довољно у хемијској и прехранбеној индустрији. Од укупне количине технички чистог алуминијума прерађује се око 35% у полупроизводе, а преосталих 65% служи за производњу легура алуминијума (силумин, дурал и др.).

#### 3.2. Легуре алуминијума

##### 3.2.1. Подела легура алуминијума

Најважнији легирајући елементи који значајно повећавају особине чистог алуминијума су: Cu, Mg, Mn, Si, Zn и Li. Легуре алуминијума се деле на легуре за гњечење и легуре за ливење. Легуре за гњечење се даље деле на оне које се термички обрађују и оне које се термички не обрађују. На слици 3.1. приказан је однос легура за ливење и гњечење.



Слика 3.1 Однос између легура за ливење и легура за гњечење

### 3.2.2. Фамилије легуре алуминијума са Mn, Mg, Si, Zn и Cu

Легуре алуминијума су изванредни конструкциони материјали. Алуминијум се може легирати са већим бројем елемената, као што су: манган, магнезијум, силицијум, бакар и хром. У табели 3.1, приказане су легуре и њихов хемијски састав.

**Табела 3.1** Врсте легура и њихов хемијски састав

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

#### 3.2.2.1. Легуре са манганом

Манган је основни елемент у овој фамилији легура алуминијума. Ова легура има изврсну пластичност, отпорна је на атмосферилије, добро је заварљива. Употребљава се за дубока вучења, за измењиваче топлоте и слично. Често употребљива легура из ове фамилије је AlMgMn из које се производе конзерве за пиће. Легуре алуминијума са манганом и силицијумом, намењене су за обраду деформисањем и оне се термички не обрађују. Њихови производи су:

- шипке (слика 3.2 а),
- жице (слика 3.2 б),
- профили (слика 3.2 ц),
- цеви и слично (слика 3.2 д).



а)



б)



ц)



д)

**Слика 3.2** Производи обрадом деформисањем алуминијума и његових легура: а) шипке; б) жице; ц) профили; д) цеви.

### 3.2.2.2. Легуре са магнезијумом

Код ових легура основни легирајући елемент је магнезијум, обично до 5 %, а понекад се додаје манган и хром. Ове легуре поседују осредња механичка својства, добро се заварују и имају знатно побољшана механичка својства при ниским температурама као и добру заварљивост. Са већим садржајем магнезијума одлично се понашају и под водом. Могућност обликовања је добра, али опада са порастом садржаја магнезијума. Примена легура са магнезијумом је врло разноврсна: грађевинарство, бродоградња, уређаји за десалинизацију морске воде, посуде, различите цистерне за транспорт.

### 3.2.2.3. Легуре са бакром

Бакар је главни легирајући елемент у овој фамилији чије механичке вредности достижу оне као код меких челика. Иначе познате су по популарном и традиционалном називу **дурали**. Употребљавају се најчешће за радне носиве делове. Немају добра антикорозивна својства и по правилу се лоше заварују. Ове легуре често се облажу чистим алуминијумом ради антикорозивне заштите. Масовно се употребљавају у авиоиндустрији, наоружању и механичким деловима.

### 3.2.2.4. Легуре са силицијумом и магнезијумом

Легирајући елементи у овој фамилији су силицијум (Si) и магнезијум (Mg) који праве спој  $Mg_2Si$ . Поседују осредње механичке вредности. Добро се обликују, добро се заварују и поседују добра антикорозиона својства. Легуре се могу поделити на два дела:

а) богатије по садржају силицијума и магнезијума уз додатак мангана, хрома и цинка. Имају боља механичка својства. Употребљавају се у носивим елементима.

б) 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.

### 3.2.2.5. Легуре са цинком и магнезијумом

Цинк заједно са магнезијумом је главни легирајући елемент ове фамилије чији представници, уз додатак бакра, поседују највећу чврстоћу од свих Al легура. **Конструктали** је њихов популарни назив. Легуре се деле на две групе у зависности од тога да ли садрже или не садрже бакар:

а) легуре са бакром поседују највећу чврстоћу. Могу се заваривати једино у специјалним условима. Лоша су им антикорозивна својства. Најчешће се употребљавају у авио и свемирској техници као и наоружању.

б) легуре без бакра поседују нешто лошија механичка својства од претходне групе. По правилу су отпорнија на корозију од легура са бакром. Њихова употреба је у наоружању, за носиве елементе (нпр. потпорањ у рудницима) и слично.

## 3.2.3. Легуре за обраду деформацијом

Легуре за обраду деформацијом (легуре за гњечење) можемо поделити у два основна типа:

- легуре које се термички не обрађују (некаљиве).
- легуре ојачане термичком обрадом (каљиве),

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

- Mn повећава јачину, обрадивост деформацијом, рекристализациону температуру, отпорност на корозију и ограничава раст зрна при растворном жарењу
- Mg повећава јачину и отпорност на корозију,
- Cu и Zn ојачавају легуру, али погоршавају обрадивост деформисањем и отпорност на корозију,
- Ni позитивно утиче на механичке особине, нарочито на вишим температурама, као и на отпорност према корозији.

### 3.2.3.1. Легуре које се термички не обрађују (некаљиве)

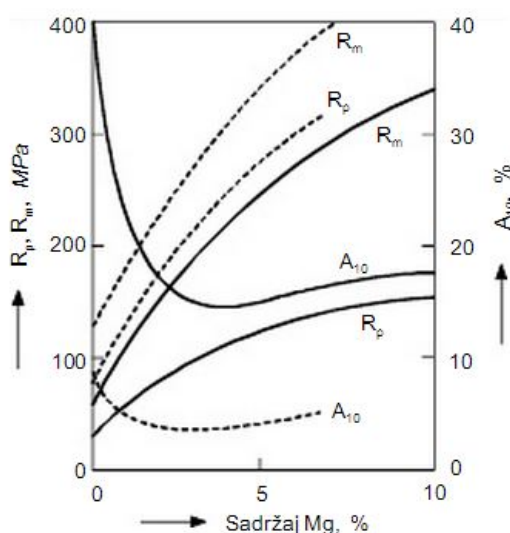
Основни тип ових легура су легуре са додацима магнезијума и мангана. Код легуре алуминијум - магнезијум садржај магнезијума не иде преко 5,5% јер при већем садржају долази до јаче интеркристалне корозије. Одликују се великом антикорозионом отпорношћу нарочито према морској води.

Главни извор ојачања је повишена чврстоћа основног чврстог раствора, док излучене фазе само минорно доприносе укупном нивоу достигнуте чврстоће.

У ове легуре спадају двокомпонентне легуре Al-Mn и Al-Mg. Испоручују се у облику лимова, штапова, цеви, жица, профила. Растворљивост Mn у фази  $\alpha$  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 механичке особине.

Легуре Al-Mg се додатно легирају манганом, што омогућава преципитацију честица  $Al_6Mn$  које имају двојако дејство (ојачавају матрицу и профињују зрно). Ове легуре се примењују у жареном стању или у стању након пластичне деформације. Жарење се обично врши на температурама 310 до 410°C са накнадним хлађењем на ваздуху.

Легуре AlMn склоне су крупнозрнастој и стубичастој кристализацији, што се спречава микролегирањем (Ti, B, Zr). Ове легуре имају добру отпорност против корозије, добру заварљивост и могу се ојачати прерадом на хладно до  $R_m=200$  МПа (деформационо ојачање).



Слика 3.3 Утицај Mg на механичке особине легуре AlMg за деформисање у жареном стању (пуна линија) и у ојачаном стању (испрекидана линија)

Растворљивост Mg у фази  $\alpha$  је знатна, али се избегава таложно ојачавање легуре AlMg, јер би незнатно повећање јачине довело до великог смањења истегљивости. Зато се користе легуре које садрже до 5% Mg јер са порастом Mg расте и удео фазе  $\beta$  ( $Al_3Mg_2$ ) која погоршава обрадивост деформацијом и отпорност на корозију. Зависност механичких

особина пластично прерађених легура AlMg од њиховог хемијског састава и стања дата је на слици 3.3. Јако ојачане легуре AlMg лако се опорављају (често и на температури околине), али задржавају добре механичке особине и при ниским температурама.

Наведене легуре се добро обликују, заварују и достижу добар ниво корозионе постојаности. Обрада резањем нарочито у жареном стању прилично је отежана. Ове легуре се могу успешно користити за делове конструкција од којих се тражи висока корозиона постојаност код нижих нивоа механичких оптерећења.

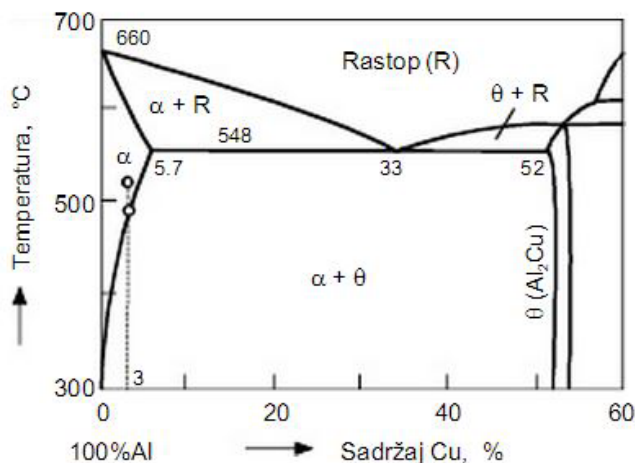
Може се рећи да се ове легуре одликују великом пластичношћу, корозионом отпорношћу и способношћу заваривања, али им чврстоћа није нарочито велика.

Легуре 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.

### 3.2.3.2. Легуре ојачане термичком обрадом (каљиве)

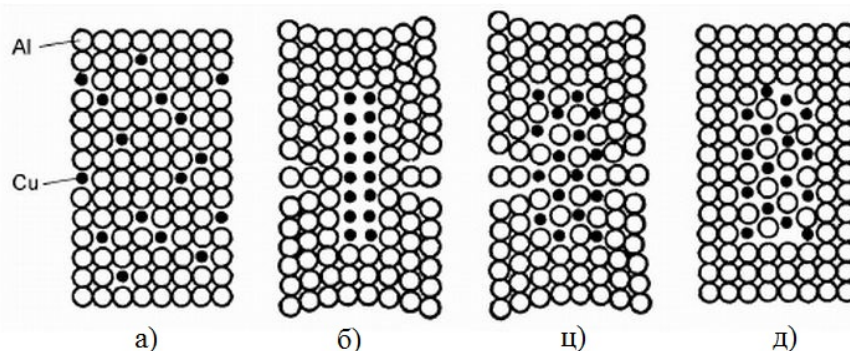
Одливци алуминијумских легура, па чак и неке легуре после прераде деформисањем имају углавном малу јачину, уз истовремено високу дуктилност (истегљивост). Корисно повећање јачине може се постићи одговарајућом термичком обрадом која се заснива на загревању дела до одређене температуре, држању (прогревању) при тој температури и затим брзом хлађењу у води. Брзим хлађењем чврстог раствора образованог при високој температури тај се раствор задржава и на собној температури. Описани термички поступак који обухвата загревање, прогревање и хлађење зове се пресићење. После тога дешавају се веома сложени процеси таложног (преципитационог) ојачавања, уско повезани са појавом тзв. старења. Ова појава се до недавно објашњавала дисперзионим излучивањем нове фазе из претходно пресићеног чврстог раствора. 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.



Слика 3.4 Део равнотежног дијаграма Al-Cu

Суштина микроструктурних процеса који се дешавају при таложном ојачању може се објаснити на примеру бинарног система  $\text{AlCu}$  (слика 3.4). Растворљивост  $\text{Cu}$  у чврстом раствору  $\alpha$  опада са 5.7% при температури од  $548^\circ\text{C}$  на свега 0.1% на собној температури, чиме је испуњена основна претпоставка за образовање пресићеног чврстог раствора при брзом хлађењу из  $\alpha$ -зоне. Ако изаберемо, нпр. легуру са садржајем 3%  $\text{Cu}$ , видимо да она на собној температури има хетерогену структуру коју чине чврст раствор  $\alpha$  и сегрегат фазе  $\theta$  ( $\text{Al}_2\text{Cu}$ ), излучен на границама зрна. Релативни удео сегрегата расте кад се састав легуре приближава максималној растворљивости бакра (5.7%) у фази  $\alpha$ . Процес ојачавања одвија се у следеће три етапе:

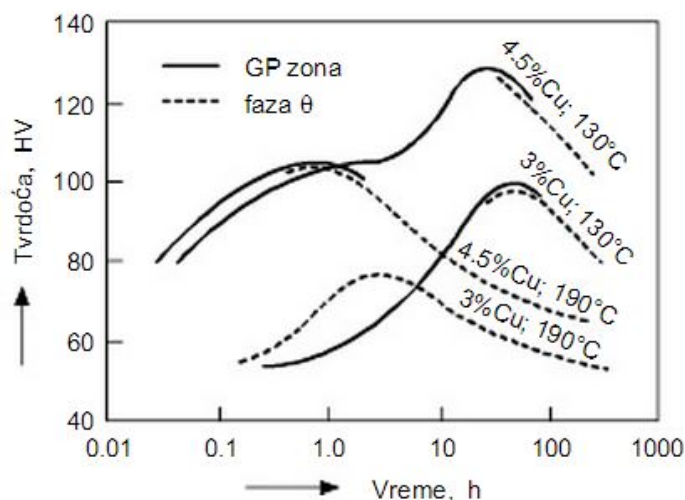
- 1) Етапа растворног жарења обухвата загревање изабране легуре до области чврстог раствора  $\alpha$ , тј. изнад сегрегационе тачке од  $490^\circ\text{C}$ , али испод солидус линије (на пример на  $520^\circ\text{C}$ ). На тој температури легуру треба задржати све док се не раствори сав сегрегат тако да тој температури одговара само хомогена  $\alpha$ -фаза.
- 2) Каљење представља другу етапу. Легура се брзо хлади до ниже температуре, обично собне. На тај начин се омета сегрегација која би иначе код легуре са 3%  $\text{Cu}$  започела већ при  $490^\circ\text{C}$ . Наглим хлађењем добија се пресићени чврст раствор  $\alpha'$  који садржи 3%  $\text{Cu}$  уместо 0.1%  $\text{Cu}$  што би одговарало равнотежном стању. Такво стање фазе  $\alpha'$  је термодинамички нестабилно и до њеног распада дошло би спонтано и при температури околине (природно старење). Много брже до распада метастабилне фазе  $\alpha'$  може доћи увођењем одређене активационе енергије (нпр. топлотне, механичке).
- 3) Старење, као трећа етапа у ојачавању, може бити природно (на температури околине) и вештачко (на повишеним температурама). Појаве које се одвијају при старењу зависе пре свега од хемијског састава легуре и од температуре старења. Код легуре коју пратимо одвијаће се при  $130^\circ\text{C}$  старење тако што ће се најпре у одређеним кристалографским равнима фазе  $\alpha'$  нагомилавати атоми бакра. Те области се називају Гиније-Престонове зоне (GP-зоне слика 3.5. а, б). У каснијим стадијумима ове GP-зоне (слика 3.5. ц, д) образују сопствену тетрагоналну решетку, чије се кристалографске равни надовезују на равни површински центриране кубне решетке фазе  $\alpha$ . Ове су решетке кохерентне, што значи да између GP-зона и  $\alpha$ -фаза нема оштре фазне границе. GP-зоне се могу уочити само на електронском микроскопу, а не и на оптичком. Ове зоне деформишу кристалне решетке фазе  $\alpha$  што ствара у њиховој околини одређено напонско стање које блокира померање дислокација и тиме ојачава легуре.



**Слика 3.5** Шема старења пресићеног чврстог раствора легуре  $\text{AlCu}_4$ : а) после пресићења, б) настанак Гиније-Престонове зоне, ц) образовање кохерентних фаза  $\theta'$ , д) издвајање фазе  $\theta$

У даљем току старења (слика 3.5 ц) настаје метастабилна фаза  $\theta'$  чија је тетрагонална фазна решетка полукохерентна; агрегати фазе  $\theta'$  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  $\theta'$ , 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  $\alpha$  и  $\theta$  (слика 3.5. д)



**Слика 3.6** Зависност тврдоће HV од времена старења  $t$  за две легуре Al-Cu и две температуре старења

Описаним појавама при старењу одговарају и промене механичких особина. Тај однос је приказан на слици 3.6, која још указује на утицај садржаја бакра и температуре старења. Преципитационо (таложно) ојачање је тим веће што је састав легуре ближи ка максималној растворљивости бакра у чврстом раствору  $\alpha$ . Процес старења се може убрзати са повишењем температуре, али изнад неке граничне температуре даље не настају GP-зоне које доводе до максималног ојачања. До сличних промена микроструктуре и механичких особина долази и код других сложенијих система у које спадају више компонентне легуре алуминијума.

У ову групу спадају легуре алуминијума са Cu, Mg, Si, Zn и Li. Ова група легура постиже висок ниво механичких својстава тек после одговарајућих термичких обрада. У табели 3.2, приказане су основне карактеристике легура алуминијума за гњечење које се термички обрађују.

**Табела 3.2** Основне карактеристике легура алуминијума за гњечење које се термички обрађују

| Легуре       | Назив   | Ознака      | Особине                               | Примена                                                 |
|--------------|---------|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Al – Cu – Mg | дурали  | AlCu3Mg     | $R_m < 470 \text{ Мпа}$               | за напрегнуте и јако напрегнуте конструкције            |
|              |         | AlCu5Mg1    | 110 HB                                |                                                         |
|              |         | AlCu5Mg2    | $A < 17\%$                            |                                                         |
| Al – Mg – Si | авијали | AlMgSi      | $R_m < 330 \text{ Мпа}$<br>$A < 12\%$ | за средње напрегнуте конструкције у бродоградњи         |
| Al – Zn – Mg |         | AlZn5Mg3Cu1 | $R_m < 520 \text{ Мпа}$<br>$A < 12\%$ | авио индустрија, грађевинство, нису корозионо постојане |

### Дуралуминијум

Немачки научник Алфред Лим припремио је легуру дуралуминијум са 95,5% алуминијума, 4% бакра и 0,5% магнезијума, па је ту легуру закалио.

Бакар се у тој легури налази у облику једињења са алуминијумом ( $\text{CuAl}_2$ ), а магнезијум у једињењу са силицијумом ( $\text{Mg}_2\text{Si}$ ). Та једињења на нормалној температури, налазе се највећим делом на границама зрна легуре, а делимично у облику чврстог раствора у кристалима алуминијума.

Дуралуминијум има специфичну масу  $2.850 \text{ g/cm}^3$ , добро се подвргава механичкој обради, и по својим механичким својствима се приближава неким врстама меког челика.

Поступак добијања легуре дуралуминијума:

- Зона минималне отпорности добија се загревањем на температури од  $350^\circ\text{C}$ , што представља практични интерес за технолошку обраду, јер тада материјал постаје погодан за обраду пластичном деформацијом
- После завршетка обраде са овако омекшалим материјалом, готови делови се подвргавају каљењу
- Чврстоћа и тврдоћа дурала се не повећава одмах након каљења, као што је случај код челика, већ постепено са временом од неколико дана
- Каљење се изводи на тај начин што се легура потапа у каду са загрејаним раствором соли натријума и калијума на температури од око  $500^\circ\text{C}$ , па се затим брзо хлади у води
- Хлађење при каљењу се врши у води на собној температури, а затим се предмет пере у топлој води ради уклањања соли које су јако корозивне. Потом се одлаже у складиште, где на ваздуху отпочиње процес "природног старења"
- Процес старења се може убрзати уколико 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 уопште и не појављује.

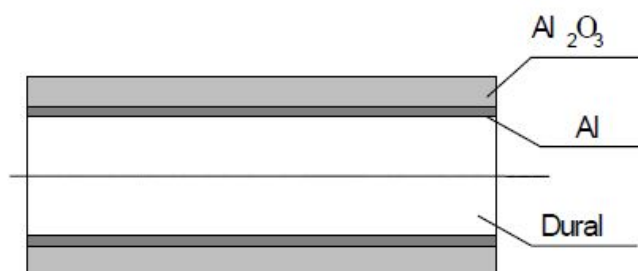
До данас је развијено више легура које се донекле разликују по саставу, начину термичке обраде и ознакама, али се сви зову истим именом- дурали.

Легуре дуралуминијума деле се у два основна типа:

- Први тип легуре садржи:  $\text{Al}$ ; 3,8-4,8 % $\text{Cu}$ ; 0,5% $\text{Mg}$ ; 0,5% $\text{Mn}$ ; 7% $\text{Si}$ ;
- Други тип легуре садржи:  $\text{Al}$ ; 3,8-4,5% $\text{Cu}$ ; 1,2-1,8% $\text{Mg}$ ; 0,5% $\text{Mn}$ ; 5% $\text{Si}$ .

Легуре дурала се користе за израду конструкционих делова средње и повишене чврстоће, када се траже добре заморне карактеристике и задовољавајућа постојаност према корозији.

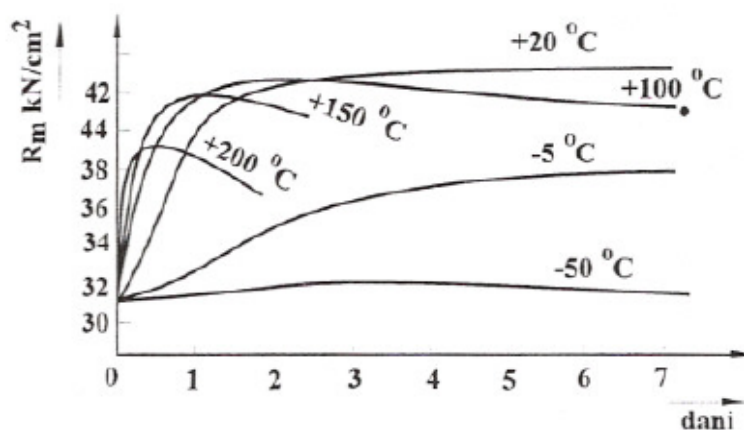
Дуралуминијум у кородирајућој сланој средини врло брзо кородира и пропадне па је било неопходно пронаћи технику да се заштити од корозије. Тако је створен материјал који се назива  $\text{Al-clad}$  ( $\text{Al-clad}$ ) (слика 3.7.). Добија се поступком који се у енглеском језику назива "cladding". Идеја је била да се по површини дуралуминијума нанесе танак слој чистог алуминијума који врло брзо оксидира и ствара заштитни слој оксида ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), који штити од даље корозије.



Слика 3.7 Попречни пресек Al-klad алуминијума

Каљење дуралуминијума састоји се у загревању до  $500 \pm 10$  °C са хлађењем у води 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.

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 (слика 3.8.). Старење при собној температури у времену од 5 до 6 дана назива се природним старењем.

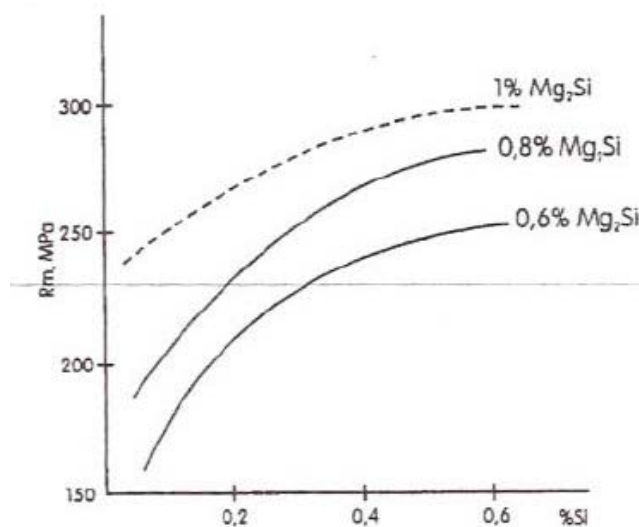


Слика 3.8 Промена чврстоће дуралуминијума у току старења на различитим температурама

Жарење се примењује пре обраде дуралуминијума савијањем, пресовањем, развртањем и многим другима. Безопасна обрада на хладном могућа је тек након предходног жарења дуралуминијума. Жарење дуралуминијума састоји се у загревању на  $350 \pm 10$  °C на незнатном држању на тој температури и затим хлађењем. Жарењем се смањује тврдоћа и чврстоћа дуралуминијума.

### Авијали

Код овог типа легуре, садржај Си у односу на дурал је знатно снижен, док је садржај Si релативно висок и такође садржи и Mg. Има нижи ниво карактеристика чврстоће, али боље дуктилне особине у односу на дурал. Завариви су и имају корозивну постојаност. Њихова предност је и добра отпорност према лому услед замора. Ојачање у авијалима је резултат деловања интерметалне фазе  $Mg_2Si$  (слика 3.9.).



Слика 3.9 Утицај додатка силицијума  $Mg_2Si$  на чврстоћу код легуре Al-Mg-Si

Легура авијал се кали на температури 515°C до 525°C у води, а ојачање, било природним било вештачким старењем, на температури 160°C траје 12 сати. Вештачко старење треба реализовати одмах након каљења, у противном се достиже нижи ниво особина чврстоће.

Из легура типа авијал израђују се лимови, профили, цеви и слично. Ова легура се обично користи за конструкционе делове који нису изложени нарочитим оптерећењима, али углавном се користе тамо где се тражи висока пластичност на нормалним и повишеним температурама.

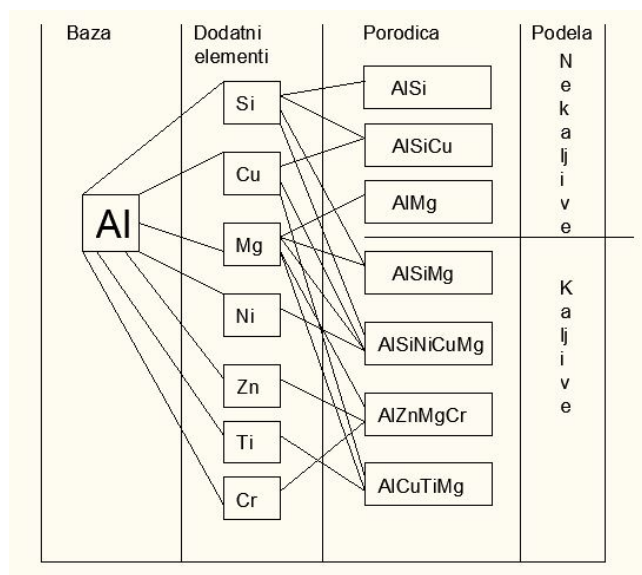
### 3.2.4. Легуре алуминијума за ливење

Алуминијум се може ојачати додавањем одговарајућих елемената за легирање (Cu, Mg, Mn, Si, итд.) да би се побољшала његова механичка или хемијска својства. Због његових особина, као што су мала густина и велика отпорност на корозију, легуре алуминијума са бавром и молибденом зване дуралуминијум, нашле су многе примене и користе се за производњу широке групе производа - од конзерви до делова за космичке бродове.

Алуминијумске легуре за ливење настају легирањем алуминијума силицијумом, бавром и магнезијумом. У зависности од главног легирајућег елемента, те легуре могу да буду:

- легуре алуминијума са силицијумом – силумин,
- легуре алуминијума са бавром – дурал и
- легуре алуминијума са магнезијумом – хидроналијум.

Код легура за ливење, користи се већи број легираних елемената него код легура за прераду гњечењем. Најшире заступљена по асортиману, а и по примени, је породица са силицијумом, позната под комерцијалним називом силумин (слика 3.10).



Слика 3.10. Подела легура подесних за прераду ливењем

Од ливачких легура алуминијума, таложно ојачавају како силумини са додацима Cu, Mg и Ni, тако и легуре типа Al-Cu са осталим додацима наведеним у табели 3.3. Силумини са додатком Mg ојачавају на топлем при чему је главна отврдњавајућа фаза  $\beta'$  ( $Mg_2Si$ ). У ојачаном стању се достиже  $R_m = 200-250 MPa$ , при веома малом издужењу (1-3%).

Табела 3.3. Одабране ливачке легуре алуминијума

| Ознака хемијског састава | Примена                                              |
|--------------------------|------------------------------------------------------|
| <b>AlSi13Mn</b>          | Танкозидни одливци, непропустљиви за течност         |
| <b>AlSi10Mn</b>          | Прибор који долази у додир са животним намирницама   |
| <b>AlMg5SiMn</b>         | Ребрасте цилиндарске главе, компоненте у архитектури |
| <b>AlMg9MnBe</b>         | Одливци отпорни у атмосфери и морској води           |
| <b>AlSi10MgMn</b>        | Танкозидни одливци у авио и ауто индустрији          |
| <b>AlSi12Ni2C</b>        | Клипови за рад на високим температурама              |
| <b>AlSi8Cu4Mn</b>        | Високооптерећени сложени одливци (блок мотора)       |
| <b>AlCu4Ni2Mg</b>        | Клипови већих димензија                              |
| <b>AlCu8FeSi</b>         | Кућишта и кошуљице клизних лежишта                   |

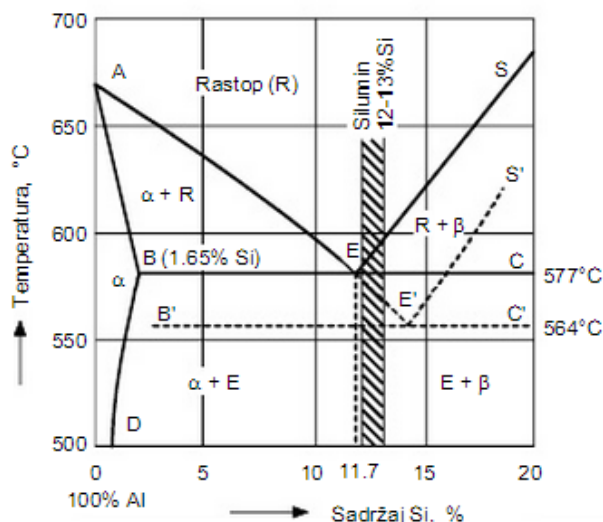
### Силумин

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

Силумин је врста алуминијумске легуре која се посебно добро обрађује ливењем. Настаје када се алуминијум легира силицијумом као главним додатком и споредним додацима бакра, магнезијума, мангана, хрома и никла.

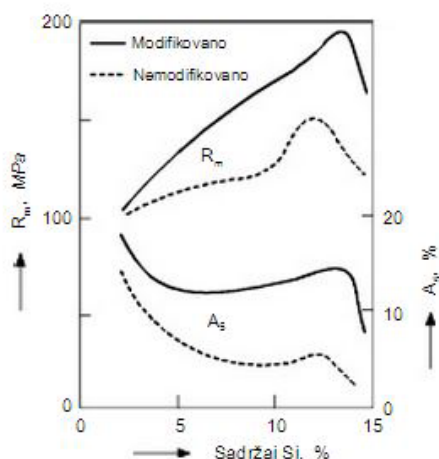
Силицијума у тим легурама има 5 – 13% и око 0,2-0,5% магнезијума. Оне легуре које садрже нешто бакра и магнезијума могу се термички обрађивати. Чврстоћа тих легура износи  $140 - 300 \text{ N/mm}^2$ , тврдоћа 50 – 120 HB, а издужење до 5%. Силумини немају велику чврстоћу јер се у њима после ливења образује релативно груба ламелаеста структура са примесама силицијума.

Ради добијања повољнијих ситнозрнастих кристала фазе  $\beta$ , силумински лив се модификује одговарајућим додацима (0.1% Na или 2% NaCl + NaF), који умањују кристализациону способност фазе  $\beta$ . На тај начин растоп очвршћава уз веће потхлађивање те настаје ситан еутектикум. Тако насталим потхлађивањем еутектичка температура пада са 577 на 564°C (сл. 3.11.), што одливку даје ситнозрнасту структуру, а тиме и боље механичке особине. Модификација мање утиче на подеутектички силумин ливен у кокилама или под притиском, јер је ту довољно потхлађивање металним калупима. Утицај процента Si и модификације на механичке особине силумина приказан је на слици 3.12.



Слика 3.11 Равнотежни дијаграм стања легура алуминијум - силицијум

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



Слика 3.12 Утицај Si на механичке особине силумина у ливеним кокилама

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

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

### 3.3. Означавање легура алуминијума

Легуре алуминијума су, у зависности од легирајућих елемената и стања производа, подељене у серије. Усвојен је нумерички систем означавања помоћу четвороцифрених арапских бројева од којих први дефинише серију према преовлађујућим легирајућим елементима. Постоји осам група серија легура алуминијума.

#### 3.3.1. Серије легура алуминијума

Серија 1XXX: У овој групи су легуре које имају најмање 99% чистог алуминијума

Серија 2XXX: Легуре алуминијума са бакром, магнезијумом и силицијумом (Al-Cu, Al-Cu-Mg, Al-Cu-Si)

Серија 3XXX: Легуре алуминијума са манганом (Al-Mn)

Серија 4XXX: Легуре алуминијума са силицијумом (Al-Si)

Серија 5XXX: Легуре алуминијума са магнезијумом (Al- Mg)

Серија 6XXX: Легуре алуминијума са силицијумом и магнезијумом (Al-Si-Mg)

Серија 7XXX: Легуре алуминијума са цинком и магнезијумом (Al-Si-Mg)

Серија 8XXX: Легуре алуминијума са осталим легирајућим елементима

#### 3.3.2. Додатне ознаке

Остали бројеви у основној ознаци (XXX) даље описују поједина својства конкретне легуре алуминијума. Поред основне ознаке легуре алуминијума могу да имају и додатне ознаке које описују стање, односно начин термичке обраде. Производ од исте легуре добијен истим основним производним процесом има битно различите употребне особине у зависности од начина термичке обраде производа, односно стања.

#### 3.3.3. Значење додатних ознака

Значење додатних ознака, приказано је у табели 3.4.

Табела 3.4 Значење додатних ознака

| Ознака    | Назив стања                                             | Опис стања                                                                                                                                                 |
|-----------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>0</b>  | Меко                                                    | Постигнуто рекристализационим жарењем производа добијених пластичном обрадом у хладном стању                                                               |
| <b>T3</b> | Термички каљено са природним старењем и хладном обрадом | Постигнуто сазревањем на собној температури и обради у хладном стању                                                                                       |
| <b>T4</b> | Термички каљено са природним старењем                   | Постигнуто сазревањем на собној температури                                                                                                                |
| <b>T5</b> | Стабилно                                                | Постигнуто жарењем производа примарне производње на температурама испод доње границе рекристализације                                                      |
| <b>T6</b> | Термички каљено са вештачким старењем                   | Постигнуто растворним жарењем и термичким очвршћавањем при повишеним температурама (вештачко старење) производа од легура погодних за термичко очвршћавање |
| <b>T8</b> | Термички каљено са вештачким старењем и хладном обрадом | Постигнуто вештачким старењем производа од легура погодних за термичко очвршћавање и обрадом у хладном стању                                               |

## 4. Особине алуминијума

Алуминијум се лије на 710 до 730°C. Топла обрада алуминијума одвија се на температури од 350 до 450°C, а жарење на 370 до 400°C.

Алуминијум је сребрнасто сјајан и лаган метал. То је метал који има добру електричну проводљивост и велику пластичност. По тој особини налази се одмах иза сребра и бакра. Изузетно је истегљив и може да се извуче у жицу дужине преко 1000 m, тежине само 27gr. Једини недостатак му је мала чврстоћа. Тај недостатак је решен додавањем других метала, чиме су добијене легуре изванредних особина. Мада је врло реактиван, веома је отпоран на корозију - на ваздуху се одмах прекрије опном оксида дебљине 0,0001 mm, која га штити од даље оксидације. Дебље и чвршће опне могу да се добију електрохемијским поступком анодне оксидације, што се назива “елоксирање”. Чист алуминијум рефлектује 90% светлости која падне на њега, и то не само видљивог већ и ултраљубичастог и инфрацрвеног дела спектра. Још неке од особина које карактеришу алуминијум су да :

- је добар проводник топлоте,
- је добар проводник електричне енергије,
- није магнетичан
- је добар рефлектор топлоте,
- није запаљив,
- не варнички,
- има добру способност заваривања,
- није отрован,
- не утиче на мирис и укус хране,
- није крт на ниским температурама,
- има могућност обликовања по свим познатим поступцима,
- има допадљив естетски изглед,
- се једноставно и јефтино одржава,
- је дуготрајан,
- има широку лепезу производа и
- има широку област примене.

Поред ових особина, постоје још и физичке, хемијске, геохемијске и механичке особине алуминијума.

### 4.1. Физичке, хемијске, геохемијске и механичке особине алуминијума

#### 4.1.1. Физичке особине алуминијума

Метал сребрнасто беле боје са површински центрираном кубном решетком. Спада у лако топљиве метале ( $T_t=661^\circ\text{C}$ ) што је последица чињенице да атоми овог метала у

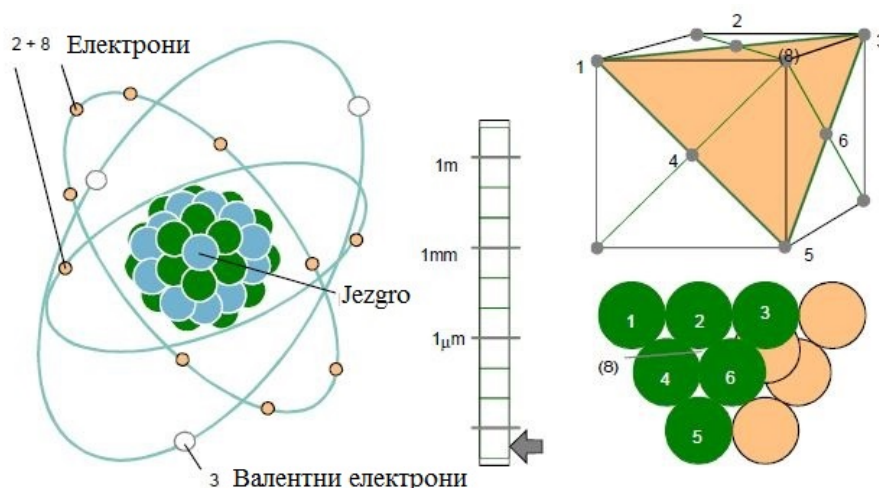
кристалној решетки нису потпуно јонизовани и да у образовању металне везе не учествују сва три спољашња електрона. Интресантно је да се алуминијум лако топи али тешко прелази у парно стање јер је његова температура кључања веома висока ( $T_{\text{кључ.}}=2497^{\circ}\text{C}$ ). Спада у меке и лаке ( $\rho=2,69\text{ g/cm}^3$ ) метале, лако се обрађује и извлачи у танке фолије (алуминијумске фолије) и жице. Дobar је проводник струје и налази се на четвртом месту по проводљивости иза бакра, сребра и злата.

#### 4.1.1.1. Атомска структура

Елемент алуминијум, хемијски симбол Al, има атомски број 13. Према садашњим концептима, то значи да је атом алуминијума састављен од 13 електрона, који имају негативне јединице наелектрисања, поређаних у три. Три електрона у спољашњој орбити дају алуминијумски атом валентности или хемијску комбинујућу моћ +3.

#### 4.1.1.2. Кристална структура

Када се метал промени из течног у чврсто стање, онда то представља кристалну структуру (слика 4.1.). Атоми се организују у одређеним симетричним обрасцима, који се у металургији називају "мрежне" структуре. Алуминијум се кристалише лицем, центриран, према кубном распореду атома, што је заједничко њему и њему сродним металима. То значи да атоми формирају углове коцке, са једним атомом у центру сваког лица.



Слика 4.1. Кристална структура

#### 4.1.1.3. Густина

Алуминијум има густину која је 1/3 густине челика или бакра, што га чини једним од најлакших комерцијалних метала. Висок однос јачине и тежине га чине веома важним структурним металом који директно утиче на укупну масу производа што у неким случајевима доводи до смањења потрошње горива

#### 4.1.1.4. Јачина

Чист алуминијум нема велику чврстоћу. Међутим, додавањем легирајућих елемената као што су манган, силицијум, бакар и магнезијум се може повећати чврстоћа метала на задовољавајући ниво. Алуминијум добро подноси ниске температуре. Има предност у односу на челик у томе да сходно опадању температуре чврстоћа истезања се повећава при чему задржава своју жилавост.

#### 4.1.1.5. Отпорност на корозију

При изложености ваздуху на површини алуминијума се тренутно формира слој оксида. Овај слој је одлична заштита од корозије. Отпоран је и на већину киселина али не и на базе.

#### 4.1.1.6. Топлотна проводљивост

Топлотна проводљивост алуминијума је око три пута већа него код челика. Ова особина га чини веома важним материјалом у производњи грејних и расхладних уређаја као што су размењивачи топлоте. Чињеница да је као материјал неотрован, га обавезно смешта у сам врх примене при куварско кухињским уређајима.

#### 4.1.1.7. Електрична проводљивост

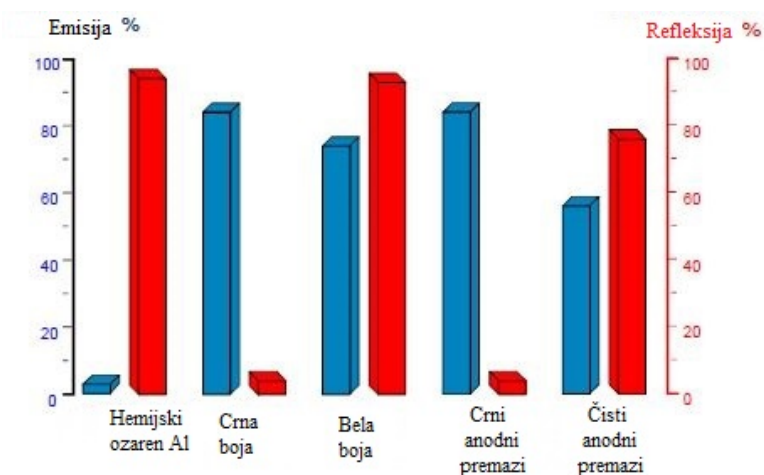
Заједно са бакром, алуминијум има електричну проводљивост довољно велику да се користи као електрични проводник. Иако је проводљивост најчешће коришћених легура (1350) само 62% жареног бакра, он је само 1/3 његове масе и зато може проводити два пута више електрицитет у поређењу са бакром исте тежине.

#### 4.1.1.8. Рефлексија и емисија

Емисивност, лакоћа са којом супстанца зрачи сопствену топлотну енергију, блиска је са рефлексијом. Чист алуминијум рефлектује око 75% светлост и 90% од топлоте зрачења које пада на њему. Емисија истог комада алуминијума је, међутим, ниска (<10% тога од црног тела на истој температури и са истим окружењем).

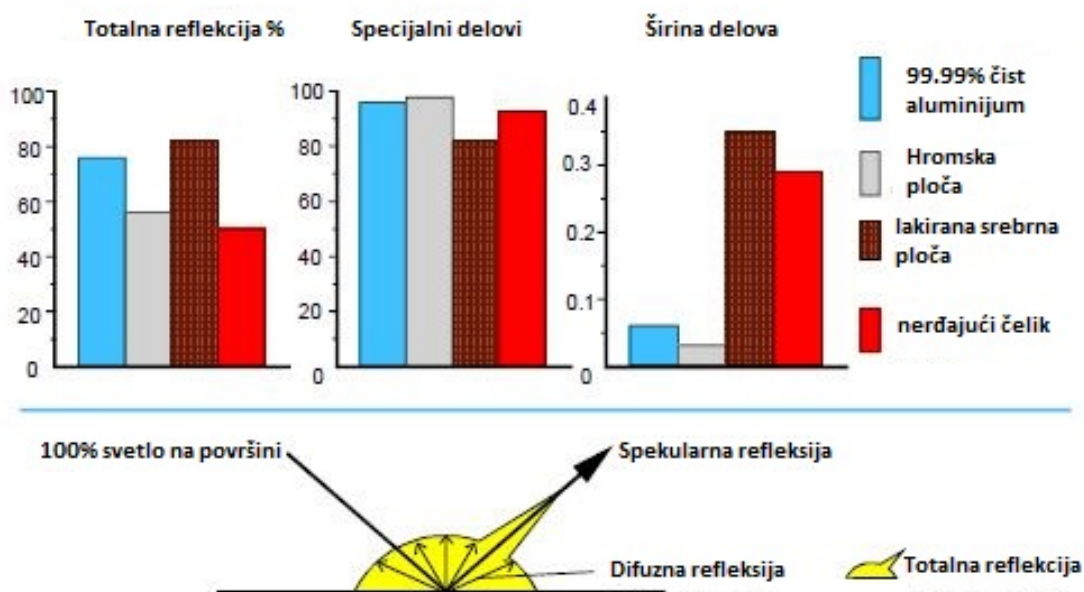
Комбинована својства са високом рефлексијом и ниском емисијом доводи на коришћење алуминијумску фолију као рефлектујуће изолациони медијум.

Емисија алуминијумове површине може се знатно подићи анодним третманом, а то је процес који је запослен у изградњи измењивача топлоте. Чисти анодни премази подижу емисију на између 35 – 65% фосфорне и хромне киселине, што чини анодни третман најефикаснијим у том погледу. Црни анодни премази имају још већи ефекат и подижу га на 95%. На слици 4.2. можемо видети ефекат разне површине која се завршава емисијом од алуминијума.



Слика 4.2 Рефлексија и емисија алуминијума са варијацијом површинског третмана

Дебљина од 3μm ће дати потпуну рефлексију, већу од 84%, а спекуларна рефлексија (оштрина слике у огледалу) више од 99%, као што је приказано на слици 4.3.



Слика 4.3. Компарација рефлексије разноврсних метала

#### 4.1.2. Хемијске особине алуминијума

Што се тиче хемијских особина алуминијума и реакције са другим елементима:

- Реагује са кључалом водом, издвајајући из ње водоник, при том прелазећи у алуминијум хидроксид,
- Врло лако се раздваја у јаким базама,
- Раствара се у соној киселини и разблаженој сумпорној киселини истискујући водоник, док при растварању са концентрованом сумпорном и разблеженом азотном киселином долази до издвајања сумпор (IV) оксида и амонијака.

Алуминијум реагује са великим бројем простих и сложених супстанци. Индиректним путем даје једињења са водоником – хидриде који су полимерна једињења састава  $(AlH_3)_n$ . Реагује са флуором, хлором и бромом, на собној температури, а са јодом на повишеној (или у присуству катализатора) дајући трихалогениде (оксидациони број Al +3) и монохалогениде (оксидациони број +1).

Алуминијум има велики афинитет према кисеонику и на ваздуху се превлачи танком, компактном, у води нерастворном опном алуминијум(III) - оксида ( $Al_2O_3$ ) која га штити од даље оксидације и чини инертним. Уколико се оксидна опна уклони алуминијум постаје поново хемијски активан.

Алуминијум (III) - оксид постоји у аморфном и у кристалном облику од две кристалне модификације ( $\alpha$  и  $\gamma$ ), где  $\alpha$  представља стабилну модификацију овог оксида која се као минерал корунд јавља у природи. По својим хемијским особинама алуминијум (III) - оксид је амфотерних карактеристика.

Алуминијум (III) - хидроксид се добија индиректним путем (реакцијом између соли алуминијума и базе) и он је као и оксид, нерастворан у води, и амфотерних карактеристика. И он постоји у аморфном облику који стајањем прелази у кристални облик. Кристални облик овог хидроксида се као минерал ципсит јавља у природи. Његовим загревањем дешава се реакција:

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

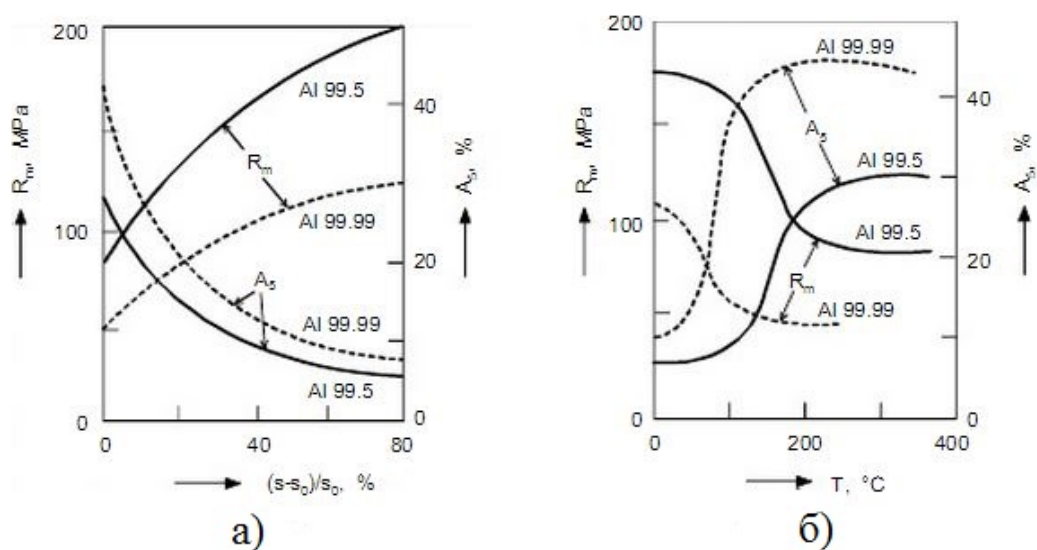
#### 4.1.3. Геохемијске особине алуминијума

Алуминијум припада групама литофилних и оксифилних елемената. Кларк алуминијума у Земљиној кори износи 8,05%, односно, он се у њој према заступљености налази на трећем месту, одмах после силицијума и кисеоника. У природи гради хемијски врло стабилна једињења. Налази се у силикатним минералима, а такође улази и у састав минерала глина који настају као продукти распадања алумосиликатних минерала (фелдспата, лискуна и других), као и минерале из групе оксида и хидроксида: хидраргилит, бемит, дијаспор, спинели, корунд и др.

#### 4.1.4. Механичке особине алуминијума

Алуминијум може поднети велике деформације без постојања трајне грешке. Ова особина му омогућава да буде обрађиван ваљањем, извлачењем, вучењем, машински и механички на разне начине. Може такође бити обликован до високе толеранције. Јачина истезања код чистог алуминијума је око 90 МПа, али може бити повећана на 690 МПа на неким топлотно-третираним легурама.

Механичка својства алуминијума су веома ниска;  $R_m$  у зависности од прераде се креће од 90-180 МПа, а тврдоћа од 20-40 НВ, а пластичност је веома висока што омогућава ваљање алуминијума до веома малих дебелина. Технички чист алуминијум има ниску јачину, али се она може повећати прерадом на хладно. Величина деформационог ојачања, при истом степену прераде, обрнуто је сразмерна чистоћи алуминијума (слика 4.4. а); ток опорављања, тј. пораста дуктилности (издужења  $A_{5.65}$ , %) и пада јачине ( $R_m$ ) при рекристализационом жарењу, дат је на слици 4.4. б. Степен прераде на хладно дефинише се односом  $(s-s_0)/s_0$ , где је:  $s_0$ - почетна, а  $s$ - крајња дебелина. У току етапе опорављања код алуминијума је карактеристична полигонизација (издужена зрна постају равно осна), што успорава ток стварања и раста нових зрна. Код веома чистог алуминијума и већих степена прераде те промене започињу већ и на собној температури. Рекристализациона температура Ал 99.5 при средњем степену прераде, износи око 150°C (слика 4.4. б). У пракси се рекристализационо жарење обавља на температури 300-400°C. Прерада алуминијума на топло, као и других метала, одвија се на температури вишој од температуре рекристализације, углавном у опсегу 350-500°C.



Слика 4.4 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

## 5. Обрадивост алуминијума и његових легура

Технолошка својства показују како се материјал понаша при разним врстама обраде, односно да ли се неки материјал може подвргнути неком технолошком поступку у процесу. У групу технолошких својстава материјала алуминијума, превасходно се убрајају:

- Обрада алуминијума и његових легура одвајањем честица, а ту спадају:
- обрада стругањем,
- обрада глодањем,
- обрада рендисањем,
- обрада брушењем,
- обрада сечењем,
- обрада бушењем,
- обрада нарезивања навоја,
- обрада турпијањем.
- Обрада алуминијума и његових легура заваривањем
- Обрада алуминијума и његових легура пластичном деформацијом
- Обрада алуминијума и његових легура ливењем
- Обрада алуминијума и његових легура термичком обрадом

### 5.1. **Обрада алуминијума и његових легура одвајањем честица**

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

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

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

- високоугљеничног челика,
- брзорезног челика,
- тврдог метала,
- дијаманта.

Иако се алуминијум и његове легуре међусобно знатно разликују по механичким и металуршким својствима, са стајалишта способности обраде и резања, а то су:

- настајање и врсте струготине
- храпавости и квалитета обрађене површине
- силе (отпора) резања
- времена трајања оштрице.

Ови материјали се могу поделити у три основне групе.

**Група А** - У ову групу спадају чист алуминијум и топлотне неочврстљиве легуре мале тврдоће, легиране углавном манганом и магнезијумом, интимно силицијумом. Карактеристични представници ове групе су легуре AlMn, AlMgMn и AlMg<sub>3</sub>. Ови материјали у меком стању имају врло неповољна својства за обраду одвајањем честица, јер осим неугодне појаве, налепљивања, настаје течна, дугачка и врло жилава струготина, што не дозвољава обраду на аутоматима.

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

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

#### **5.1.1. Обрада алуминијума и његових легура стругањем**

За ову врсту обраде алуминијума (слика 5.1.) и његових легура најчешће се примењују алати израђени од брзорезног челика и тврдог метала. Предност имају алати од тврдог метала, јер то код грубе обраде омогућава знатно теже режиме рада, а истовремено код фине обраде, због знатно већих брзина резања, а резултује бољим квалитетом површине.

За стругање алуминијума уопштено важе следеће препоруке:

- код грубе обраде и тврдых легура угао ножа  $\beta$  требало би повећати,
- за мекше легуре и код завршне обраде угао ножа  $\beta$  је мањи,
- код алата из тврдог метала стражњи угао  $\alpha$  требало би одржавати на минималном дозвољеном растојању.

Основни параметри обраде, дати су у табели 5.1.

**Табела 5.1.** Информативне вредности карактеристика алата и режима обраде код стругања алуминијума и његових легура

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



**Слика 5.1.** Обрада алуминијума стругањем

### 5.1.2. Обрада алуминијума и његових легура глодањем

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

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

Заједничка карактеристика свих глодала за обраду алуминијума и његових легура јесте грубље озубљење (мањи број зубаца) са квалитетно обрађеним лицем алата и резним оштрицама. Предњи угао  $\gamma$  и бочна косина, већи су него код глодала за челик.

Геометрија алата и оријентационе вредности за режиме обраде, наведени су у табели 5.2.

**Табела 5.2** Оријентацијске вредности за геометрију алата и режиме обраде код глодања алуминијума и његових легура

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

### 5.1.3. Обрада алуминијума и његових легура рендисањем

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

Као материјали за алате, користе се високоугљенични или брзорезни челици. Углови алата и режиме обраде, приказани су у табели 5.3.

**Табела 5.3.** Углови алата и вредности са режима обраде код рендисања.

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

#### **5.1.4. Обрада алуминијума и његових легура брушењем**

Код алуминијума и његових легура брушење се ретко примењује, јер већина легура, нарочито у меком стању узрокује запушење брусног кола, као и клизање по површини израдка. Тврде алуминијумске легуре су нешто повољније за брушење.

Фактори, који су битни за квалитетно брушење су:

- правилан избор брусног кола,
- правилан избор и довољна количина средстава за хлађење,
- оптимална брзина брушења.

При чему се за сваки поједини случај треба консултовати са произвођачем брусних кола.

#### **5.1.5. Обрада алуминијума и његових легура сечењем**

Разликујемо уздужно сечење тракастом и лиснатом тестером, које је у начелу, врло слично рендисању и сечењу кружним алатом (циркулар), које у потпуности одговара плошном или кружном ободном глодању.

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

#### **5.1.6. Обрада алуминијума и његових легура бушењем**

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

#### **5.1.7. Обрада алуминијума и његових легура - нарезивање навоја**

Код обликовања навоја на алуминијуму и његовим легурама, могу се применити све конвенционалне методе израде навоја, али је геометрија алата прилагођена специфичностима обраде лакших метала.

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

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

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

Код алуминијума мора увек бити минимално 2,5 пута већа од размера навоја.

#### **5.1.8. Обрада алуминијума и његових легура турпијањем**

За турпијање алуминијума и његових легура примењује се турпијање са релативно grubим и дубоким жлебовима. Повећани угао нагиба оштрице ( $\lambda$ ) осигурава самочишћење

жлебова и спречава пуњење турпије струготином. Не смеју се употребљавати турпије за челик, због врло лаког и брзог пуњења жлебова струготином.

## 5.2. Заварљивост алуминијума и његових легура

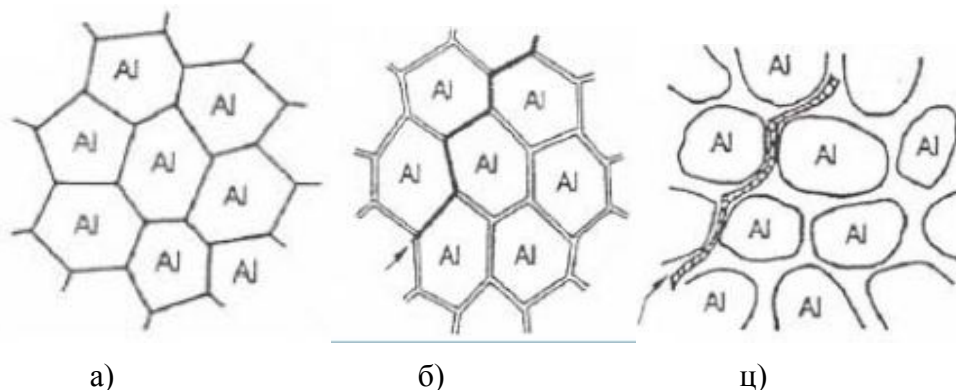
Алуминијум и његове легуре се могу заваривати свим уобичајеним поступцима заваривања. Способност заваривања за различите поступке битно зависи од садржаја легирајућих елемената.

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

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

### 5.2.1. Захтеви за заварљивост и заварене спојеве

Основни захтев за алуминијумски материјал за заваривање је да не сме имати склоности ка настајању прелина. Термички отворднути 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. Конструктивно, заварени спојеви могу да буду у оквиру подручја са нижим оптерећењем. На слици 5.2. приказани су типови очвршћавања легура алуминијума.



**Слика 5.2.** Различити типови очвршћавања легура алуминијума, а) Чисти алуминијум. Нема критичног температурног интервала; очврсли кристали алуминијума се чврсто повезују после очвршћавања; тенденција стварања пора. б) Мали еутектикум. Критични температурни интервал; тенденција „врћих суза“ јер је маса чврста, али није повезана. в) Значајан еутектикум; нема критичног температурног интервала; нема тенденције настајања прелина, јер чврсти кристали алуминијума пливају у еутектикуму, али постоји ризик од скупљања по границама зрна.

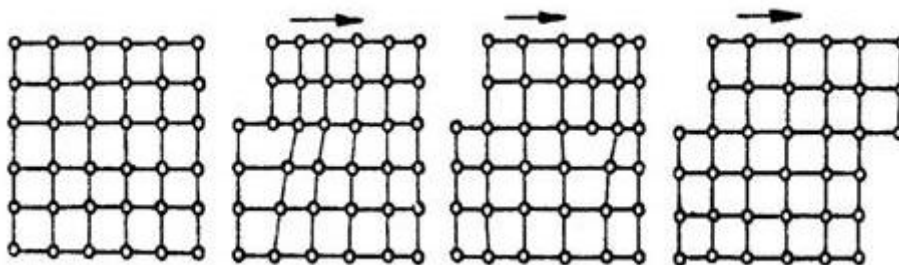
Сви алуминијумски материјали, посебно они са повишеном чврстоћом, код статичких и динамичких напрезања су веома осетљиви на зарез. При заваривању хладно

отврдњавајућих само закаљивих легура типа  $\text{AlZnMg}$  применом додатног материјала истог састава као основног материјала долази до појаве великих прслина. Применом додатног материјала са 5% Mg који садржи мале количине Mn и Si смањује се склоност ка образовања ових прслина у знатној мери.

### 5.3. 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 5.3.).



Слика 5.3. Померање дислокације кристалне решетке при пластичном деформисању

### 5.4. Обрада алуминијума и његових легура ливењем

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

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

- Боље механичке карактеристике - (брже одвођење топлоте омогућује хлађење за краће време и формирање ситнозрнасте структуре,
- Тачност димензија и облика је већа, као и квалитет површине (мањи додаци за обраду),
- Економичнија производња:
- 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.

### **5.5. Обрада алуминијума и његових легура термичком обрадом**

Алуминијум и његове легуре прерађују се ливењем или деформисањем. Могу се термички обрађивати жарењем, каљењем или старењем.

Жарење се изводи загревањем одливака. Време жарења зависи од врсте, облика и величине одливака. Делови се врло споро хладе у пећи а загревају три сата. Жарење има задатак да отклони напоне у легури или да изврши промене у структури да би се добила одговарајућа механичка својства легуре. После загревања легуре се могу споро хладити у пећи, при чему се добија веома мека легура. Ако се хлађење изводи на ваздуху, долази до уситњавања структуре и побољшања механичких својстава.

Каљење легура обојених метала врши се загревањем и брзим хлађењем. Режим каљења одређује се на основу дијаграма стања легуре и фазних промена у чврстом стању. Пре хлађења потребно је одабрати расхладно средство и одредити брзину хлађења да би се добила структура хомогеног, чврстог раствора.

Старење и нормализовање нестабилне структуре или презасићеног чврстог раствора изводи се да би се легури повећале чврстоћа и тврдоћа.

## 6. Примена алуминијума и његових легура у аутомобилској индустрији

Тешко је рећи ко је први започео, али можда је мало лакше проценити ко је дао највише доприноса у погледу уласка нових технологија и материјала у свет индустрије аутомобила. Метал је и даље најчешће коришћени материјал у свим могућим варијантама. Један од значајнијих лаких метала на аутомобилима свакако је алуминијум чија је примена у аутомобилској индустрији све чешћа, али још увек релативно скромна.

Вероватно најпознатији алуминијумски аутомобил заувек ће остати "Audi A2" (слика 6.1) који је био много скуп и чија је лоша продаја зауставила продукцију негде на половини планираног производног циклуса. Али, овај аутомобил није сам по себи био скуп. Високу цену донела је првенствено технологија израде аутомобила од алуминијума, која је још увек скупља од оне у којој користимо челик.

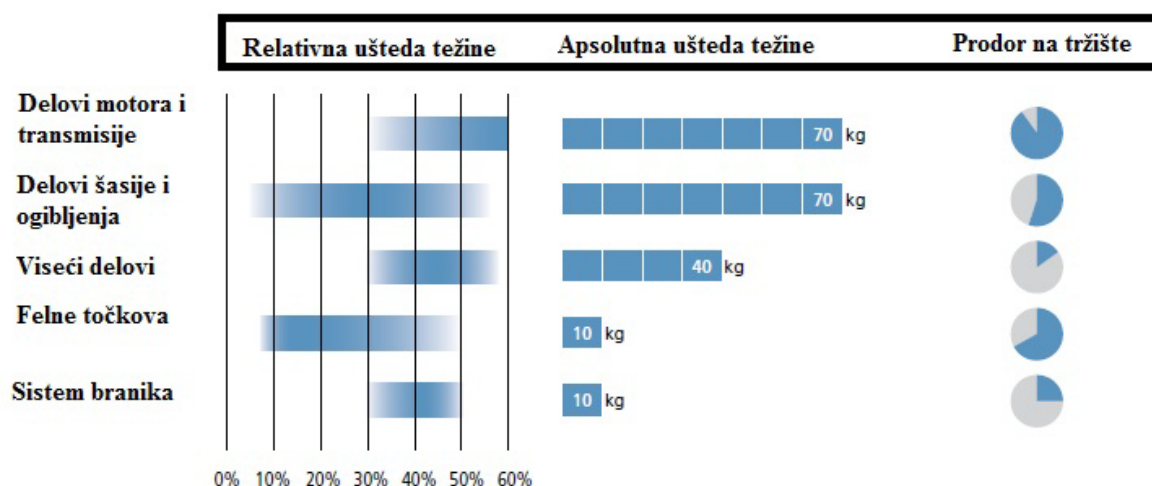
Лаки материјали попут алуминијума и његових легура не доносе искључиво уштеду на маси возила. Уштеде у смислу трошкова производње такође су значајне јер овај материјал омогућава примену нових технологија обраде, а самим тим и мању потрошњу енергије у неким случајевима. Такође, предности материјала попут алуминијума одликују се у могућности израде делова аутомобила бољих својстава. Поред нових начина спајања алуминијумских површина примењених на "Lotusovim" концепту APX, једна занимљива предност овог метала искоришћена је у "Hondi". Овај јапански произвођач је за нову генерацију лимузине "Legend" развио посебан начин пресовања алуминијумског лима који се користи за израду поклопца мотора и пртљажника као и предњих блатобрана. У том процесу алуминијумски лим се загрева на температури од 500 °C у загрејаном калупу. Након што је лим загрејан, на њега делује медиј под високим притиском и обликује део према калупу.



Слика 6.1 Алуминијум у аутомобилској индустрији, модел Audi A2

Алуминијум омогућава уштеду до 50% у односу конкурентске материјале у многим апликацијама.

Типична релативна и апсолутна маса просечне штедне главних данашњих алуминијумских апликација у серијској производњи аутомобила дати су на слици 6.2.

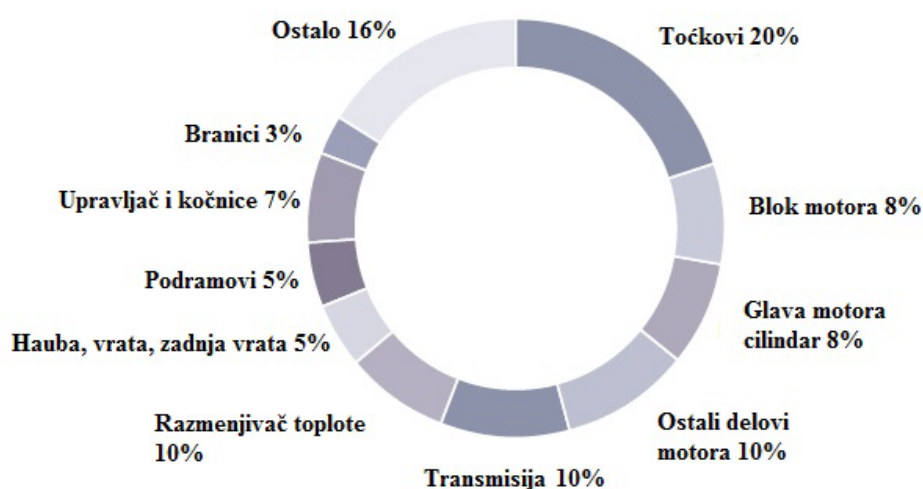


Слика 6.2 Директне уштеде тежине алуминијума је и продор на тржиште

Audi A2, Jaguar XJ и Range Rover су добро познати по њиховом садржају алуминијума, који износи 500 kg, али и сви аутомобили заправо садрже значајне количине алуминијума.

Овај износ се предвиђа да ће порасти и до 160kg до 2020. године, па чак и до 180kg, уколико мала и средња возила буду пратила еволуцију у аутомобилској индустрији.

Студије се заснивају на детаљној анализи модела аутомобила која представља европски обим производње од 17 милиона јединица у 2012. години. Расподела 140 kg на различитим деловима могу се видети на слици 6.3.



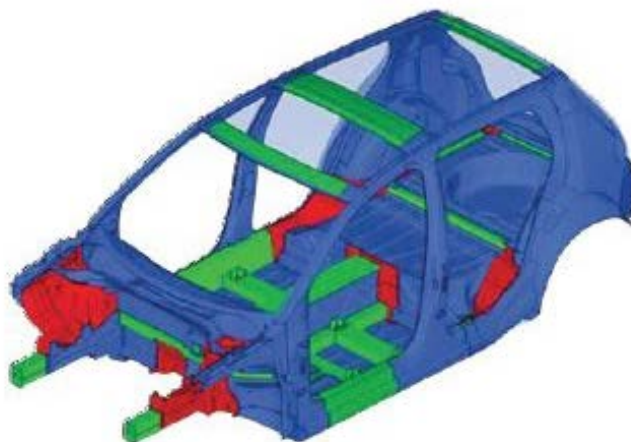
Слика 6.3 Дистрибуција алуминијума у европским аутомобилима

Иновативни, безбедни и економични делови аутомобила, данас се могу наћи на свим моделима аутомобила. За ове делове, пребацивање на употребу алуминијума је релативно лако и не захтева потпун реинжењеринг аутомобила. Заједно, њихов лаган потенцијал прелази 40 kg по аутомобилу, али је продор на тржиште мањи за 20%.

У пракси измена материјала, генерално је повезана на моделу, где постоји обимно поновно пројектовање у сваком случају. Дизајн мешовитих материјала не представља веће проблеме, под условом да су предузете све одговарајуће мере. Дакле, потенцијал уштеде тежине, могао би чак да буде и знатно већи.

Електрична возила су данас поприлично скупа, углавном због трошкова батерија. Стога је важно да се електрични аутомобили направе енергетски ефикасни, што је боље могуће. Лагани алуминијум је један од најочигледнијих начина побољшања енергетске

ефикасности за било које возило, укључујући и електропогон. У студијама, доказано је да електрични аутомобил, марке VW Golf class, може бити 187 kg лакши, уколико би користио алуминијум уместо челика. Укупни трошкови електричних возила од алуминијума, били би за 635 евра нижи од електричног возила направљеног од челика.



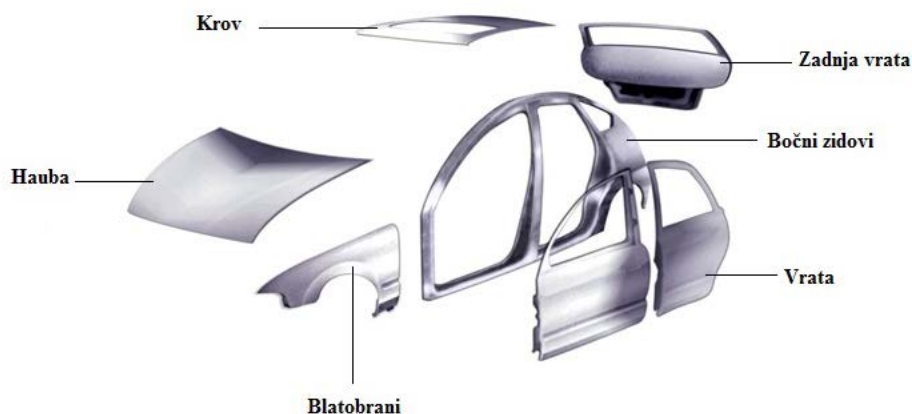
• ploča • istiskivanje • livenje

Слика 6.4 Дистрибуција алуминијумских полупроизвода

Дизајн алуминијумског аутомобила постигнут је задржавајући облик шкољке истим, као и за оригиналну шкољку аутомобила од челика. Слика 6.4 приказује различите полупроизводе од алуминијума који се користе у аутомобилском дизајну.

Поред тога, анализа животног циклуса електричних возила пуног челика и пуног алуминијума, показују да алуминијумско електрично возило емитује 1.5 тона ефекта стаклене баште, мање преко свог комплетног животног циклуса од челичних електричних возила.

У будућности, све више ће се производити аутомобили направљени од алуминијума, што делови аутомобила, што каросерија. На слици 6.5 приказани су делови каросерије, направљени од алуминијума.



Слика 6.5 Делови каросерије аутомобила

Данашње возила морају да испуне велики и све већи број строгих прописа о безбедности, како у погледу управљања возила тако и у погледу заштите пешака.

Лагани алуминијумски дизајн нуди могућност да се побољшају безбедносне перформансе возила.

Да би се испунили различити захтеви сигурности, модерна возила укључују јак и стабилан путнички простор који обезбеђује неопходан простор за преживљавање, у

случају несреће која је окружена деформационом зоном где се енергија судара ефикасно апсорбује без прекорачења критичних нивоа убрзања. У развоју конструкције тела аутомобила најважније је да се пронађе одговарајући компромис између конструкционе крутости, капацитета апсорпције енергије приликом судара и даљих захтева каросерије. Алуминијум је идеалан материјал екстремне конструкционе крутости алуминијума, што је резултат високе дебљине материјала (алуминијумске компоненте су 50% дебље од челичних компоненти).

Дизајн за заштиту пешака, захтева довољан деформациони простор и искоришћење конструкционог материјала нудећи ниску почетну максималну снагу и блиско контролисање карактеристике апсорпције енергије. Поред тога, потенцијал за лагани дизајн са алуминијумом олакшава смањење ризика од тешких повреда колена и главе додавањем нижих браника.

## **6.1. Алуминијум у шасији и вешању**

У просеку, аутомобили произведени у Европи, садрже 40 – 45kg алуминијума у шасији и вешању (око 30% од укупног просечног садржаја алуминијума). За аутомобиле произведене у Северној Америци и југоисточној Азији, овај удео је нешто мањи (25 - 30%). Међутим, садржај алуминијума у шасији и вешању доста варира између различитих модела.

Примена алуминијума у шасији и вешању ће такође расти у будућности, као последица општег тренда лаганог материјала. Значајан потенцијал раста је и даље предвиђен за алуминијумске тачкове, посебно због побољшања естетске привлачности.

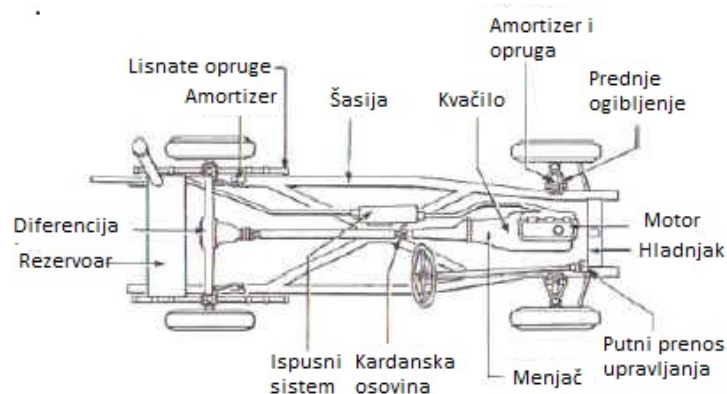
Са друге стране, шасија и компоненте вешања имају највећи приоритет у безбедности. Тачкови и делови вешања изложени су високим динамичким оптерећењима иагресивним срединама. Зато је неопходно да се користе само високо квалитетне алуминијумске компоненте направљене од пажљиво одабраних легура користећи правилно контролисане фабриковане процедуре и одржавање строгих стандарда контроле квалитета у производњи.

Дизајн компоненти шасије и вешања карактеришу коегзистенције различитих решења. Широки спектар могућих концепата дизајна са врло различитим материјалним условима морају се узети у обзир приликом процене замене компоненти направљених од ливеног гвожђа и челика. Овај ће бити дати примери актуелних производних делова и компоненти у свим главним областима шасије:

- Подрам (посебно предњој и задњој осовини подрама),
- Делови вешања (раме, ...),
- Тачкови,
- Управљачки систем,
- Кочиони систем.

### **6.1.1. Шасија**

Шасија (слика 6.6) се сматра једном од значајних конструкција аутомобила. То је оквир који држи тело аутомобила и погон. Разни механички делови као што су мотор и погонски механизам, у осовинским склоповима, укључујући тачкове, делове вешања, кочнице, компоненте управљача и тако даље, прикачени су на шасију. Такође помаже да се задржи крутост аутомобила. Сходно томе, шасија је такође важна компонента укупног система безбедности. Осим тога, она обезбеђује низак ниво буке и вибрација аутомобила.



Слика 6.6. Шасија

#### 6.1.1.1. Дизајн и концепт шасије

Првобитно, дизајн аутомобила користи изградњу "тело-на-рам", где носећа шасија која се састоји од оквира у виду мердевина, није носеће тело. У почетку се користи на скоро свим возилима. У другој половини прошлог века, дизајн рама шасије је све више измештен по монокок конструкцији, интегришући тело и кућиште у јединствену целину. Традиционални концепт "тело-на-рам" се данас углавном користи за тешке камионе и аутобусе.

Потенцијал лаког алуминијума, може се искористити у свим различитим типовима шасија аутомобила:

**Рам шасија:** Рам у виду мердевина са две праве уздужне греде, повезане са неколико попречних чланова, је најстарији и најједноставнији облик свих аутомобилских шасија. У оградном раму, средњи део уздужних греда постављен је ван граница предњих и задњих шина. Дизајн обода рама нуди више комфорних положаја седишта и већу сигурност у случају бочног удара.

**Кичма шасија:** Ова шасија има правоугаону цев као кичма која се користи да се споји предња и задња оsovина. Ову врсту аутомобилске шасије је лако направити и веома је исплатива, али нема потребну крутост и тражи конкретне мере предострожности у вези заштите путника. Ипак, још увек је јака и довољна да обезбеди подршку за мале спортске аутомобиле.

**Монокок шасија:** Монокок шасија је једноделна конструкција која прописује општи облик возила. Ова врста аутомобилске шасије произведена је од стране спајања подне посуде и осталих компоненти тела заједно да формирају "једноделну" конструкцију. У поређењу са старијим дизајном возила где је тело зашрафљено на раму. Правилно дизајнирана монокок шасија аутомобила је лакша, много крућа и нуди бољу заштиту путника у случају судара. Пошто је монокок конструкција исплативија и погодна за роботску производњу већина данашњих возила користе концепт овог дизајна.

#### 6.1.2. Вешање

Вешање (слика 6.7) је термин, који представља дат систем опруге, амортизере и везу возила са точковима. Систем вешања има сврху остваривања путних перформанси аутомобила, добрих активних карактеристика кочења због безбедности и задовољства у вожњи. Вешање чини да возило буде удобно и комфортно, као и да има добру изолацију од буке друмског саобраћаја, удараца и вибрација.



Слика 6.7 Вешање

#### 6.1.2.1. Дизајн и концепт вешања

Основна сврха вешања је да су точкови што је могуће више у контакту са површином пута. Близак контакт са путем је најважнији, јер пренос снаге и кретање изводи се преко површине гуме. С друге стране, вешање такође мора обезбедити удобну вожњу и заштиту возила од оштећења и хабања. Ови циљеви су углавном у раскораку, односно правилан дизајн и фино подешавање вешање подразумева проналажење правог компромиса.

#### 6.1.2.2. Делови вешања

Осим веза, фундаменталне компоненте вешања су:

- Стабилизатори (анти-рол шипке),
- Опруге,
- Ваздушни системи ослањања,
- Амортизери.

##### *Стабилизатори*

Стабилизатор је обично торзиона опруга која се опире ротационим окретањем тела. Његова сврха је да спречи тело аутомобила од "ролања" (котрљања) при оштрим кривинама. Стабилизатор је обично направљен од комада челика облика "У" који повезује тело на две тачке са леве и десне стране вешања. Ако се леви и десни точкови крећу заједно, шипка само ротира око своје монтажне тачке и не савија се. Уколико се точкови крећу један у односу на други, шипка је подвргнута торзији и приморана је да се окрене. Неки скупи аутомобили су такође почели да користе "активне" анти-рол шипке које могу имати аутоматска подешавања вешања, постигнута, контролом рачунара. Резултат тога је смањена склоност превртања возила у току вожње.

##### *Опруге*

Данашњи систем опруга аутомобилске индустрије се заснива на једном од четири основна дизајна:

- Спиралне опруге
- Лиснате опруге (данас се ретко користе)

- Торзионе опруге
- Ваздушне опруге

Торзиони системи се најчешће налазе у аутомобилу. Торзионе шипке користе завојне особине челичне шипке да обезбеде опруге налик перформансе завојнице. Један крај од торзионе шипке је причвршћен за шасију возила, а други крај за рамена, који делује као полуга која се креће нормално на торзионој шипки.

#### *Ваздушни системи ослањања*

Ваздушна опруга се састоји од цилиндричне ваздушне коморе која је позиционирана између волана и тела аутомобила. Ваздушни системи ослањања, који се обично налазе у главном сегменту аутомобила, користе компримовани ваздух као опругу. Ваздух је под притиском од стране погонског мотора или електричног ваздушног компресора.

Ваздушно вешање замењују конвенционални систем челичних опруга. Ваздушни системи ослањања су у стању да се аутоматски прилагоде пригушивању. Због својих бројних предности, ваздушни системи вешања су све више предвиђени за будуће платформе.

Поред различитих компоненти у контролној јединици, алуминијумске апликације у ваздушном вешању укључују ваздушне резервоаре који чине компримовани ваздух, али и различите цеви за повезивање са интегрисаним прирубницама. Тренутно се примењује притисак ваздуха у вешањима који се креће се од 10 бара до 25 бара. Јединствен пример за иновативну оптимизацију инсталационог простора је троугласта ваздушна ћелија код Audi A6 која је инсталирана иза задњег седишта, која је приказана на слици 6.8.



**Слика 6.8** Ваздушна ћелија за систем ваздушног вешања код Ауди А6 (SAG Motion AG)

#### *Амортизери*

Уколико постоји конструкција амортизера, механичке опруге би ослободиле апсорбујућу енергију на неконтролисан начин. У пракси, непожељни покрети опруге амортизовани су апсорберима који успоравају и смањују величину покрета вибратора пригушивањем или расипањем кинетичке енергије кретања амортизера. Гумени уметак затим апсорбује остатак вибрација. Једина сврха амортизера у сваком систему ослањања је да контролише осцилације опруга.

Постоје многе врсте амортизера, али најчешће коришћен је амортизер двоструког дизајна, цев која ради са хидрауличном течностју (уље). Може се прилагодити свим врстама вешања. Горњи носач амортизера, везује се за рам аутомобила, док се доњи носач повезује са осовином. Енергија опруге се преноси на амортизер кроз горњи носач са клипом, који се налази у унутрашњој цеви испуњен хидрауличном течностју. Лагани амортизери са алуминијумским цевастим кућиштима, приказани су на слици 6.9.



Слика 6.9 Лагани амортизери са алуминијумским цевастим кућиштима

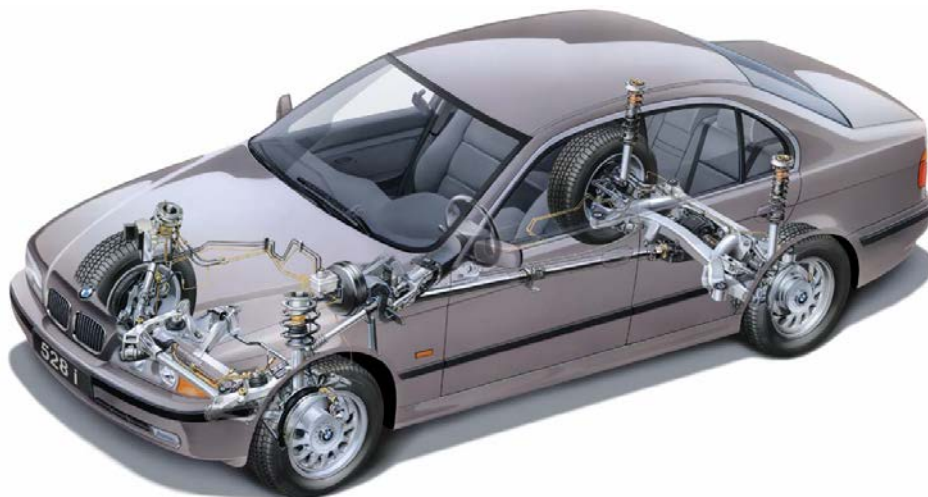
### 6.1.2.3. Подрамови

Подрамови су конструкциони модули који су дизајнирани да носе одређене аутомобилске компоненте као што су мотор или осовине и вешања. Сврха коришћења подрамова у аутомобилу је да дистрибуира висока локална оптерећења на ширем подручју тела аутомобила. Подрамови су зашрафљени или заварени на телу возила. Подрамови су понекад опремљени гуменим чаурама или опругама да би ублажили буку и вибрације. Додатна погодност је што подрамови могу бити одвојено склопљени и интегрисани у возилу.

Као природни развој аутомобила са пуном шасијом, одвојени предњом и задњом осовином, подрамови су искоришћени у модерном дизајну возила да смање укупну тежину и цену. Осовине подрамова могу имати различите облике и испуњавати различите функције:

- подрамови за задње и предње осовине,
- спољашњи оквири који носе како осовину тако и мотор.

Подрам који подржава мотор и евентуално неке друге компоненте (нпр. пренос) ће бити посебно користан на предњим погонским точковима аутомобила. Тако сложенији, али и скупљи дизајн ће резултовати бољом путном изолацијом и мањом грубошћу, јер ове компоненте нису више директно повезане са главном конструкцијом тела. На слици 6.10, приказан је модел са алуминијумском предњом и задњом осовином подрамова.



Слика 6.10 BMW серија 5 модел са алуминијумском предњом и задњом осовином подрамова.

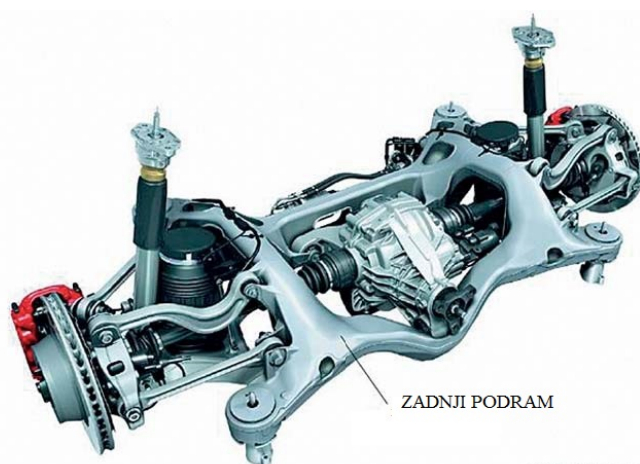
Осовина подрама мора бити стабилна да обезбеди одличан контакт са путем, али и такође лака да гарантује висок комфор за путнике, без обзира на површинске неравнине. Дакле, осовине подрамова су веома интересантне компоненте за примену алуминијума:

- Правилно дизајниран алуминијумски модул показује потребну снагу и крутост за осовине подрамова.
- Поред опште, лагана маса опруге смањује снагу вибрације и нуди равномернију вожњу.
- У зависности од обима производње, трошкови израде алуминијумских подрамова могу се смањити применом правилно дизајнираних квалитетних алуминијумских одливака (смањење трошкова монтаже по делу интеграције). Осим тога, елиминација/смањење монтажних спојева побољшава укупне перформансе подрамова.
- Могућност да се алуминијумски подрамови монтирају одвојено од остатка возила, олакшава њену интеграцију челичног или мешовитог материјалног тела.

Дакле, много различитих лаганих дизајна подрамова развијени су користећи различите облике производа од алуминијума истискивањем и изливањем.

#### Задња осовина подрамова

Алуминијумска задња осовина подрама је посебно истакнута за задњи погон возила са високим захтевима возне динамике и комфора. Осовина мора држати тачкове на путу како би се осигурао контакт па чак и вуча погонских тачкова. Стога је важно да се створи конструкциони модул посебно мале тежине и високе крутости. На слици 6.11 приказана је задња алуминијумска осовина подрама.



© 2010 Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG

**Слика 6.11** Задња алуминијумска осовина од PorschePanamera

#### Задњи подрам ливен као једноделни

Очигледно решење задње осовине подрама лаганог алуминијума је ливење шупљег једноделног комада. Ранији пример (почетак производње почео 1998. године), приказан је на сликама 6.12 и 6.13. Релативно велико ливење (дужина 700 mm, ширина 1200 mm, висина 250 mm) и готов део тежине од 16,7 kg је произведен од стране Vacuum Riserless Casting (VRC) /Pressure Riserless Casting (PRC). Технологија ливења развијена од стране Alcoa. Дебљина зида ливеног подрама варира између 5 и 25 mm. Замена оригиналног челичног ливеним алуминијумским подрамом омогућила је смањење тежине од скоро 40%.



**Слика 6.12** Задња осовина подрама шупљо ливена као једноделна, произведена од стране VRC/ PRC технологије



© 2010 Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG

**Слика 6.13** Задња осовина подрама Porsche Panamera шупљо ливена као једноделна под ниским притиском, произведена од стране VRC/ PRC технологије

Задња осовина подрама у алуминијумском дизајну лима

Безтоплотни третман легура алуминијума AlMgMn (приказан на слици 6.14) се примењује у великим количинама као топло и хладно ваљани лимови због своје добре обрадивости који може увек да се поново образује између жарења током сложених операција. Они су веома погодни за монтажу релативно сложених делова шасије као што су осовине подрамова због њихове обрадивости, јачине, заварљивости и чињенице да не постоји потреба за преципитационо каљење.



**Слика 6.14** Алуминијумска задња осовина произведена од AlMgMn лимова алуминијумских легура

### Предња осовина подрамова

Одличан пример је BMW дупло спојене опруге, које подупиру предњу осовину која је направљена од алуминијума (приказана на слици 6.15). Употреба алуминијума доводи до смањења тежине за 30% у односу на сличну осовину израђену од челика, у суштини смањује масу возила без опруге. Нижу тежину коју је потребно померати, лакше је контролисати. Истовремено, алуминијумска конструкција је стабилна, тако да предњи точкови увек имају оптималну вучу на површини пута.



**Слика 6.15** Алуминијумска предња осовина

Другачији пример који је коришћен за лагану верзију предње осовине подрама Volkswagen Lupo (приказан је на слици 6.16). У овом случају, веома једноставан дизајн се састоји од једног комада савијеног лима, где је коришћена метална конструкција. Пратећи вишестепено дубоко извлачење и процес утискивања, алуминијумски лим је савијен да би направио шупљи попречни део. Крајеви преклапајућих листова, спојени су MIG заваривањем.



**Слика 6.16** Предња осовина подрама Volkswagen “3 litre” Lupo

## **6.2. Точкови**

Алуминијумске легуре за израду делова точка, имају значајну улогу у аутомобилској индустрији, посебно код производње луксузних и спортских модела.

У примени се најчешће сусрећу точкови израђени ливењем од легура типа Al-Si. У потрази да се оствари што мања маса точка, развијена је технологија ковања у калупу (слика 6.17), као и обликовање точка од лимова поступком екструдирања.



**Слика 6.17** Фазе врућег ковања точка у калупима

За европска мерила индикативан је почетак за аутомобилску индустрију Италије (1982. године), која је поред 10 милиона точкова од челика, произвођила и 1,5 милиона точкова од алуминијумских одливака. Ливени точкови се у САД производе из легуре 6061, а у немачкој из легуре 6082.

У табели 6.1 приказан је преглед најчешћих легура за производњу аутомобилског точка.

**Табела 6.1** Основне легуре за производњу аутомобилског точка

| Главни легирани елементи у % |         | Основни стандард | Комерцијална ознака   | Стандарди одговарајућег или сличног састава |
|------------------------------|---------|------------------|-----------------------|---------------------------------------------|
| Si                           | 7       | UNI 3599         | G- $\text{AlSi7MgMn}$ | 356.1 /USA/                                 |
| Mg                           | 0,3     |                  |                       |                                             |
| Mn                           | 0,5     |                  |                       |                                             |
| Si                           | 9       | UNI 3051         | G- $\text{AlSi9MnMg}$ | A 360.2 /USA/                               |
| Mn                           | 0,5     |                  |                       |                                             |
| Mg                           | 0,3     |                  |                       |                                             |
| Si                           | 13      | UNI 4514         | G- $\text{AlSi 13}$   | A 413.2 /USA/<br>$\text{AlSi12 /Fe/ /JUS/}$ |
| Mg                           | 3,5     | UNI 3575         | P- $\text{AlMg3,5}$   | 5154 A.A /USA/                              |
| Mn                           | 0,3     |                  |                       | $\text{AlMg3.00 /JUS/}$                     |
| Si                           | 0,5     | UNI 3569         | P- $\text{AlMgSi}$    | 6060 A.A /USA/                              |
| Mg                           | 0,5     |                  |                       | $\text{AlMgSi0,5.00 /JUS/}$                 |
| Mg                           | 1       | UNI 6170         | $\text{AlMg1SiCu}$    | 6061 A.A /USA/                              |
| Si                           | 0,6     |                  |                       | $\text{AlMgSiCu.00 /JUS/}$                  |
| Cu                           | 0,25+Cr |                  |                       |                                             |
| Si                           | 1       | UNI 3571         | P- $\text{AlSi1MgMn}$ | 6080 A.A /USA/                              |
| Mg                           | 0,6     |                  |                       | $\text{AlSi1Mg.00 /JUS/}$                   |
| Mn                           | 0,4+Cr  |                  |                       |                                             |

Три основна елемента точка су: средиште, паоци и обод. Понекад ове компоненте ће бити један комад, понекад два или три. Чвориште је централни део точка и део где је точак везан за вешање кроз носач точка (или зглоба).

Челични точкови су обично од пресованог лима, а затим заварени заједно. Они се и даље налазе на многим аутомобилима јер су јефтини, издржљиви и флексибилни, али и тешки.

Алуминијумски точкови представљени су и због стилских разлога, да имају препознатљив лични печат. Ковани алуминијумски точак, произведен је од стране ALCOA 1984. године. Успешан почетак производње алуминијумског точка у Европи почиње

развојем Porsche 911 у 1962. години. Porsche је тражио посебан точак који би требало да има изванредне квалитете и да представљају нове облике, такође визуелно. Ковани алуминијумски точак од OTTO FUCHS понудио је атрактиван изглед. Поред тога, његова мала тежина и тиме добијено смањење масе обезбеђују веома добар квалитет вожње. 1970. године ливени алуминијумски точкови, фабрички опремљени, почели су са производњом због масовне производње аутомобила.

Продор алуминијумских точкова је у 2000. години за европска возила био око 30 до 35%, у поређењу са много више од 50% у САД-у и Јапану. Данас, око 50% возила произведених на светском нивоу употребљава алуминијумске точкове, тј точкови представљају скоро 15% од просечног садржаја алуминијума у путничким аутомобилима и лаким камионима. У Северној Америци, продор на тржиште алуминијумских точкова је приближан 70%, у Јапану око 60%, а у Европи око 50%. Данас, стопа раста тржишта алуминијумских точкова је успорена, али тржишни обим је и даље у порасту. Развој нових челика, степена високе чврстоће и софистициране производне методе, омогућили су значајну тежину умањења за челичне точкове.

Точкови морају да обезбеде критичне функције безбедности и морају да испуњавају високе стандарде пројектовања, инжењеринга и израде. Скоро сви модерни алуминијумских точкови се добијају од једног или два процеса: ливење и ковање. Док је изглед точка био главни мотив за ливене точкове, ковани точкови су обично лакши и јачи, али и скупљи од ливених точкова. Ипак, уз одговарајућу пажњу квалитета материјала и контроле процеса, ливени алуминијумски точкови могу бити на високом нивоу и пружити много година доброг рада.

Данас, ливени алуминијумски точкови су најчешће са тржишним уделом од преко 80% у Северној Америци, више од 90% у Европи и са близу 100% у Јапану. У Северној Америци, удео кованих точкова је око 15%, у Европи само 5%. Повећање захтева за смањење тежине представља добру прилику за даљи раст кованих алуминијумских точкова, упркос вишој цени. Многи нови развоји су на путу да се додатно смањи тежина присутних алуминијумских точкова без угрожавања предности *стајлинга*. Атрактивни компромис се може састојати од ливених или кованих централних дискова и накнадно монтираних (углавном заваривањем) за истискивање или ваљање точкова. На слици 6.18 приказани су точкови направљени различитим технологијама.



**Слика 6.18** Алуминијумски точкови произведени од стране различитих технологија: а) ливени точак; б) ковани точак; ц) 2-комадни лим точак; д) 3-комадни са екструдираним ободаом и ливеном чвориштем

Произвођачи аутомобила траже од својих добављача точкова висок квалитет производа који задовољава све захтеве стандардних услова вожње. Најважније карактеристике алуминијумских точкова су флексибилност и естетски изглед, чак и након дугорочног коришћења. Други важан фактор је генерално смањена тежина и низак ротациони моменат инерције, смањење укупне масе возила такође помаже да се смањи

потрошња горива. Осим тога, боља топлотна проводљивост алуминијума доводи до бржег расипања топлоте из кочница, која побољшава перформансе кочења у веома захтевним условима вожње и смањује шансу неуспеха кочнице услед прегревања.

У фази пројектовања алуминијумског точка, морају се узети у обзир следеће карактеристике:

– Крутост

Конструкциона крутост је основни параметар инжењеринга који се испитује приликом дизајнирања алуминијумског точка који нуди барем исте перформансе возила као еквивалентни челични точак.

– Статична перформанса (јачина)

Да би се избегла деформација по максималној оси (убрзавања и кочења) и радијални напони (претварање), јачина преноса материјала мора се узети у обзир. Додатни, значајан фактор је отпорност на температуре, односно точак мора бити у стању да толерише привремено 200°C, због близине кочница и температуре око 100°C током дужих периода.

– Заморно понашање

Замор је најважнији параметар за димензионисање точкова. Нумеричке методе симулације се систематски користе током пројектовања.

Осим механичких карактеристика, такође постоје и други важни елементи дизајна:

– Термални аспекти

Без обзира на врсту точкова (ливени, ковани, мешовити ковано - ливени) који се користи, алуминијум расипа топлоту брже од челика. Осим тога, алуминијумски точак делује као веома ефикасан хладњак. Ово резултира у знатно већој ефикасности кочења, и смањеним ризиком од прегревања пнеуматика.

– Стил и смањење тежине

Смањење тежине возила без опруге је кључни приоритет за било који разматран дизајн. С друге стране, аспекти изгледа су генерално одлучујући фактор за избор алуминијумских точкова. Тако, компромис мора бити прихваћен уколико услови изгледа диктирају избор одређених производних технологија и самим тим остварење мање од максималног потенцијала достижно за смањење тежине.

– Толеранције димензија

Савршен баланс маса је кључни параметар да се избегну значајне вибрације волана. У поређењу са челичним точковима, мања тежина лима алуминијумских точкова такође смањује интензитет вибрација.

– Отпорност на корозију

Постоје различите опције третмана за површине алуминијумских точкова који нуде различите квалитете и предности. Избор точка, трајност и одржавање су захтеви који морају бити узети у обзир приликом избора површине точкова. Галвански ефекти корозије не представљају генерално никакве проблеме.

### **6.2.1. Ливење алуминијумских точкова**

Главна предност ливених алуминијумских точкова је висок стајлинг и свестраност. Ливени точкови такође пружају високу тачност димензија и одговарајуће статичке, динамичке и механичке карактеристике. Важан разлог за избор ливених алуминијумских

точкова је њихов атрактиван визуелни изглед. Смањење тежине у односу на челичне точкове је корист, али не често и главни циљ. Тако, у неким случајевима, тежина точкова од ливеног алуминијума је једнака или само незнатно мања од точкова стандардног челика без икаквих додатака.

Различите технологије за ливење алуминијума су погодне за производњу точкова. Висока продуктивност ливачких метода се првенствено примењује за производњу алуминијумских точкова који се користе у фабрикама за производњу аутомобила. С друге стране, *афтермаркет*, тражи више разноврсних дизајна, али релативно мале серије, односно специјалитет ливачког процеса је више користан. Дакле, она одређује не само јачину и постојаност за воланом, већ утиче и на ниво квалитета који се може остварити у различитим припремним корацима при коначном изгледу. Сходно томе, избор оптималних метода ливења зависи од много различитих фактора.

Главни процеси ливења који се користе производњу алуминијумских точкова је:

- ливење под ниским притиском (углавном се користи) слика 6.19,
- гравитационо ливење у калупу (мање се користи),
- процес истискивања (маргинално се користи).



Слика 6.19 Ливење точка под ниским притиском

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

### 6.3. Управљачки систем - волан

Волан за путничка возила (приказан на слици 6.20) је углавном кружни, а монтиран је на стубу волана од чворишта повезаног на спољном прстену са једном или више жица. Поред тога, ваздушни јастук за возача интегрисан је у управљачу. Надаље, електронске могућности постају све значајније. Тако је све више и више електронских тастера и функција које су интегрисане у волану. Новији развоји обухватају фиксна чворишта волана који нуде велике предности традиционалном волану, јер је чвориште фиксно, и садржи асиметрични ваздушни јастук дајући возачу побољшану заштиту. Он такође може да одржи велики број контрола које су више видљиве и лако доступне возачу.

Волани су углавном произведени као једна целина. Алуминијум или магнезијум се обично користи за рам волана. Ливени рам је затим преко обликован са флексибилном полиуретанском пеном. Додатни производни процеси укључују кожу, дрво и многе друге материјале.



Слика 6.20 Волан направљен од алуминијума

## 6.4. Кочиони систем

Систем кочица представља интегрални део аутомобила. То омогућава возачу да успори или заустави возило и омогућава стационарни положај возила. Неуспех аутомобилског кочионог система може довести до незгоде, физичких повреда или чак смрти појединца.

У последњих неколико година, кочиони системи су претрпели промене у погледу перформанси, технологије, дизајна и безбедности. Данас, заштита од блокирања точкова, (ABS) системи су више или мање стандардни. Модерне ABS верзије не само да спречавају блокирање точкова при кочењу, већ и електронски контролишу кочење предњих и задњих кочица. Ова функција, у зависности од њених специфичних способности и имплементације, позната је као електронска расподела кочионе силе (EBD), контролом проклизавања, хитном помоћи при кочењу или електронски систем контроле стабилности.

### 6.4.1. Алуминијум у кочионом систему

Типичан систем састоји се од диск кочица напред и добош кочица позади повезаних системом цеви које повезују кочицу на сваком точку са главним цилиндром. Други системи који су повезани са системом кочења укључују ручну кочицу, електронске системе контроле као што су ABS или EBD система, итд. Главне компоненте кочионог система возила су клешта, ротори, добош кочице и хидраулички побољшане јединице, као што су: електронски системи који контролишу рад кочица, педала кочица, паркинг кочица(слика 6.21)



Слика 6.21 Компоненте кочионог система

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

Већина ових алуминијумских апликација ће остати и даље да се користе, а вероватно ће чак и њихова примена да расте у будућности.

Потенцијални простор за нове алуминијумске апликације су кочиони дискови и добоши. Диск и добош кочнице раде на истом принципу: У принципу, аутомобилски кочиони дискови и добоши, направљени су од ливеног гвожђа или челика. Осим његове релативно ниске отпорности на хабање, алуминијум би био пожељан материјал за ове апликације. Алуминијумске легуре су релативно јаке и нуде одличну ударну жилавост. Алуминијумски дискови и добоши су такође лакши него гвоздени добоши, што би довело до значајног смањења тежине и још интересантније је, јер то утиче на неоптерећену масу и ротациону масу возила. Осим тога, алуминијум проводи топлоту много боље што побољшава дисипацију топлоте. Побољшана топлотна проводљивост такође спречава екстремне топлотне акумулације на површини диска или добоша, што може озбиљно да оштети плочице или да спречи да кочнице раде исправно.

У неким случајевима, алуминијумски кочиони добоши користе се, посебно за апликације предњег точка. Да би се избегао прелиминарни неуспех због претераног хабања, алуминијумски кочиони добоши имају гвоздену или челичну чауру на унутрашњој површини добоша, везану или приковану за алуминијумски спољашњи омотач. Сличан приступ може да се користи код диск кочнице.

#### 6.4.2. Компоненте кочионог система

Као што је већ речено, алуминијумске компоненте се често налазе у хидрауличком систему. Ове компоненте морају да задовоље највише захтеве сигурности. У принципу, користе се само коване алуминијумске легуре.

Међутим, високо квалитетне технике за ливење алуминијума, могу се применити за производњу главног цилиндра, приказаног на слици 6.22.



Слика 6.22 Алуминијумски главни цилиндар

У случају диск кочице у стези (склоп у ком су смештене кочионе плочице и клипови) је најважнија примена алуминијума. На слици 6.23 приказана је стега са интегрисаним механизмом.



*Слика 6.23 Стега са интегрисаним механизмом за функцију паркирне кочице*

Додатна примена алуминијума, потенцијално се може наћи у кочионим водовима. Флуиди који се налазе у кочицама, путују из главног цилиндра на точковима кроз низ хидрауличних цеви и ојачаних гумених црева. Гумена црева се користе само на местима која захтевају флексибилност, као што су предњи точкови.

#### **6.4.3. Дискови и добоши**

Употреба алуминијума као основног материјала за диск кочице или добоша (приказ на слици 6.24) представља велики изазов, али и веома велики потенцијал за смањење тежине возила. Резултат смањене тежине у овом случају је још интересантнији јер утиче на укупну масу аутомобила.

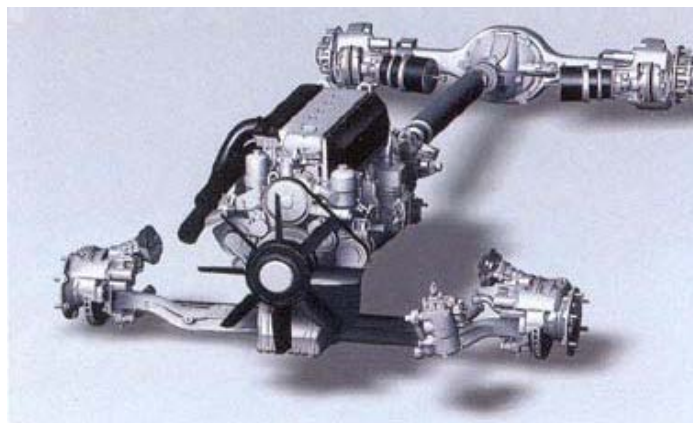
У прошлости, примена стандардних алуминијумских материјала показала је недостатке лаганих алуминијумских дискова/добоша у погледу недовољне јачине и отпорности на хабање. Развој композита са металном алуминијумском матрицом (Al-MMC), резултовао је лаганим материјалима са значајним побољшањима у односу на стандардан алуминијум у овим областима. Кочиони дискови фокусирани су на легуре алуминијума ојачане керамичким честицама.



*Слика 6.24 Алуминијумски кочиони дискови и добоши*

#### **6.5. Погонски механизам**

Термин погонски механизам односи се на групу компоненти које генеришу снагу и преносе је до погонских точкова. То укључује мотор, квачило, мењач, различите погонске осовине и диференцијал. Погонска група је део возила, која се након преноса мења у зависности од тога да ли је возило на предњи погон, задњи погон или на четири точка (слика 6.25.).



**Слика 6.25** Погонски механизам аутомобила

Већина алуминијума који се данас испоручује у аутомобилском тржишту користи се у погонском механизму. У просеку погонског механизма аутомобила произведених у Европи налази се око 80 kg алуминијума. Ово одговара 55-60% од просечног укупног садржаја алуминијума аутомобила произведених у Европи. За аутомобиле произведене у Северној Америци и у југоисточној Азији, проценат удела алуминијума у погонском механизму је од 65-70% и још већи.

Већина компоненти погонског механизма ливених делова од алуминијума (80-85%), произведени су од стране различитих технологија ливења. Примењене ливене легуре обично имају 20%-ну концентрацију легура, углавном су то силицијум, магнезијум и бакар. Многе алуминијумске ливене легуре произведене су од рециклираног алуминијума.

У различитим апликацијама погонског механизма, алуминијум је материјал избора и достигао је потпун продор на тржиште. Алуминијум је такође практично једини материјал који се користи за производњу клипова. За главе цилиндра, пренос кућишта и многих помоћних агрегата. У последње време, моторни блокови су највећи покретач раста алуминијума, прво за бензинске моторе, а сада и за дизел моторе.

До значајаног раста удела алуминијума у мотору дошло је, углавном, због високе цене ливеног гвожђа. Међутим даљи потенцијал раста у погонском механизму је ограничен. Мада, постоје производње где остала лагана решења почињу да замењују алуминијум. Данас главни конкуренти алуминијума у производњи погонског механизма су пластике високих перформанси, које нуде могућност малих трошкова и ефикасну израду у областима које нису изложене утицајима високих температура.

Детаљнији описи алуминијумских производа погонских компоненти приказани су у даљем тексту:

- Клипови,
- Блок мотора,
- Облоге цилиндара,
- Главе цилиндара,
- Систем напајања горивом,
- Топлотни штитови,
- Измењивачи топлоте,
- Остале компоненте мотора,
- Браници,

- Каросерија,
- Пренос и погонска група.

## 6.6. Клипови

Клипови се израђују искључиво из еутектичких и надеутектичких легура са силицијумом. Клипови од ових материјала поседују добра механичка својства на повишеним температурама уз мали коефицијент ширења, добро проводе топлоту и отпорни су на хабање. У табели 6.2 су наведене најчешће легуре за израду клипова.

Табела 6.2 Преглед основних легура за израду клипова

| Главни легирајући елементи          | Основни стандард | Комерцијална ознака | Стандард одговарајућег или сличног састава |
|-------------------------------------|------------------|---------------------|--------------------------------------------|
| Si 10<br>Cu 2,2<br>Mg 1,4           | UNI 3050         | G-ALSi10CuMgNi      | A-S10 UG /F/<br>F 332.1 /USA/              |
| Si 12,7<br>Ni 2,2<br>Mg 0,8<br>Cu 1 |                  |                     |                                            |
| Si 12<br>Ni 1<br>Cu 1,5<br>Mg 1     |                  |                     |                                            |
| Si 17<br>Cu 1<br>Mg 1<br>Ni 1,2     |                  |                     |                                            |
| Si 17<br>Ni 1,3<br>Mg 1<br>Cu 1     | NF A 57702       | A-S18UNG            | -                                          |
| Si 12<br>Ni 1<br>Cu 1,5<br>Mg 1     |                  |                     |                                            |
| Si 17<br>Cu 1<br>Mg 1<br>Ni 1,2     |                  |                     |                                            |
| Si 17<br>Cu 1<br>Mg 1<br>Ni 1,2     |                  |                     |                                            |
| Si 17<br>Cu 1<br>Mg 1<br>Ni 1,2     | -                | Termafond S 175     | LM 28 /GB/                                 |
| Si 17<br>Cu 1<br>Mg 1<br>Ni 1,2     |                  |                     |                                            |
| Si 17<br>Cu 1<br>Mg 1<br>Ni 1,2     |                  |                     |                                            |
| Si 17<br>Cu 1<br>Mg 1<br>Ni 1,2     |                  |                     |                                            |

Највећи део клипова се израђује ливењем, док су клипови израђени пресовањем у калупу лакши за 20 до 25% уз изврсна својства отпорности. У случају израде клипова за дизел моторе пресовањем у калупу, неопходна је употреба легура са високим садржајем силицијума, а окарактерисане су високом отпорношћу на трошење.

У мотору са унутрашњим сагоревањем, клипови претварају термалну енергију у механичку енергију.

Функције клипова су:

- за пренос снаге гаса преко клипњаче на коленасто вратило,
- за заптивање - у вези са клипним карикама – постављају се у комору за сагоревање против цурења гаса у картер и спречавају продирање уља из картера у комору за сагоревање,
- да расипају топлоту апсорбованог сагоревања до цилиндарске кошуљице и уља за хлађење.

Алуминијумске легуре су пожељни материјал за израду клипова како у бензинским, тако и у дизел моторима, и то све због због својих специфичних карактеристика: мале

густине, високе топлотне проводљивости, једноставног обликовања (ливење и ковање), лаке обрадивости, високе поузданости и веома добре могућности за рециклажу.

Даљим развојем савремених бензинских и дизел мотора долази се до специфичних циљева за даљи развој клипа: смањење тежине клипа, повећање механичке и термичке носивости, смањеног трења, итд. Поред тога, морају се узети у обзир основни захтеви за трајност, низак ниво буке и минималну потрошњу уља. Ови циљеви постижу се циљаним комбинацијама високих перформанси алуминијумских клипних материјала, нових клипних дизајна и примени иновативних технологија превлака. На слици 6.26 приказана је шема мотора са унутрашњим сагоревањем са алуминијумским клиповима.



Слика 6.26 Разни мотори са унутрашњим сагоревањем са алуминијумским клиповима

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

### 6.6.1. Дизајн разматрања за аутомобилске клипове

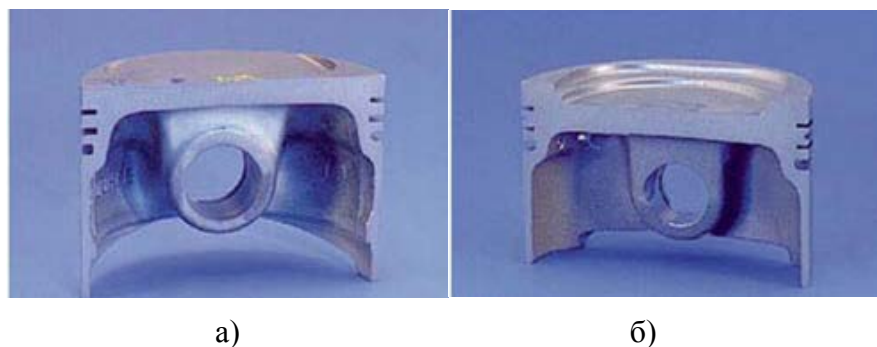
У моторима за путничка возила, пречник алуминијумских клипова како се за бензинске, тако се и за дизел моторе креће обично између 65 и 110 mm.

Постоје два основна типа (приказани на слици 6.27):

- моно – метални алуминијумски клипови,
- алуминијумски клипова са ливењем-у елементима.

Челик или керамика ливени у елементима се користе као локално појачање да побољшају механичке особине на високим температурама и/или за контролу термичког ширења (тј. смањење ефеката различитих коефицијената термичког ширења у контактним областима са другим материјалима).

Моно-метални клипови се могу користити у комбинацији са блоковима мотора од ливеног гвожђа, али само за ниске-перформансе мотора.



Слика 6.27 а) ливени монометал клипови; б) ковани монометал клипови

Модерни алуминијумски клипови за бензинске моторе, као што су ECOFORM® концепт и клип који је развио MAHLE (приказан је на слици 6.28) су дизајнирани за минималне тежине уз повећање носећих капацитета.



Слика 6.28 Алуминијумски клип који је развио MAHLE

## 6.7. Блок мотора

Блокови мотора се претежно раде од ливеног гвожђа, док је удео алуминијума далеко мањи. Осим економских разлога, овоме доприносе и захтеви за крутост и отпорност на трошење, па се учешће алуминијума за израду блокова мотора процењује на само 25%. Код мотора мањих запремина, трошкови израде блока од алуминијума су високи, па све остале предности (смањење масе, отпорност на корозију, топлотна проводљивост, механичка обрадивост) долазе у други план.

За ливење блокова мотора користе се кокилни и потисни лив. У Француској, где се око 50% свих блокова мотора ради од алуминијума и легура алуминијума, у принципу се примењују потисни лив.

Пошто стандардне подеутектичке легуре алуминијума употребљаване за израду блокова мотора немају задовољавајућа својства отпорности на трошење, примењују се изведбе са уложеним цилиндричним челичним улошцима или платирањем унутрашњости цилиндара хромирањем или никловањем. Чешће се примењује хромирање.

У САД-у, а након тога и у Немачкој и Енглеској развијена је технологија примене надеутектичких легура алуминијума са 17% Si, које су омогућиле изведбе без челичних уложака.

При контролисаним условима могуће је у фази очвршћавања осигурати равномерно излучивање примарних кристала силицијума.

Такво микроструктурно и равномерно распоређивање кристала силицијума ствара предуслов за добру отпорност против трошења. Након механичке обраде површине, следи хемијски третман комада у току којег долази до стварања кристалића силицијума у облику рељефа. Уље за подмазивање мора бити стално присутно на микрохрапавах површини, постигнутој на вештачки начин, да се смањи трење између клипа и зида цилиндра.

У табели 6.3 су приказане најчешће употребљаване легуре за ову намену.

**Табела 6.3** Преглед основних легура за производњу моноблокова мотора

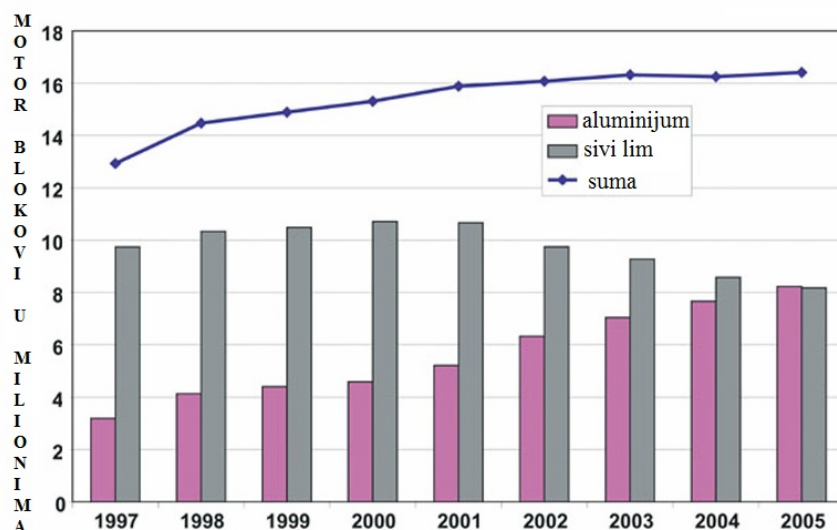
| <b>Главни<br/>легирајући<br/>елементи</b> |     | <b>Основни<br/>стандард</b> | <b>Комерцијална<br/>ознака</b> | <b>Стандард<br/>одговарајућег или<br/>сличног састава</b> |
|-------------------------------------------|-----|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>Si</b>                                 | 7   | -                           | A-S7U3G                        | -                                                         |
| <b>Cu</b>                                 | 3   |                             |                                |                                                           |
| <b>Mg</b>                                 | 0,5 |                             |                                |                                                           |
| <b>Si</b>                                 | 7   | UNI 3599                    | G-ALSi7MgMn                    | 356.1 /USA/                                               |
| <b>Mg</b>                                 | 0,3 |                             |                                |                                                           |
| <b>Mn</b>                                 | 0,5 |                             |                                |                                                           |
| <b>Si</b>                                 | 8,5 | UNI 5075                    | G-ALSi8,5Cu3, 5Fe              | B 380 /USA/                                               |
| <b>Cu</b>                                 | 3,5 |                             |                                |                                                           |
| <b>Fe</b>                                 | 1   |                             |                                |                                                           |
| <b>Si</b>                                 | 9   | UNI 3051                    | G-ALSi9MnMg                    | A 360.2 /USA/                                             |
| <b>Mn</b>                                 | 0,5 |                             |                                |                                                           |
| <b>Mg</b>                                 | 0,3 |                             |                                |                                                           |

Добављачи блокова мотора стално теже за производњом бољих блокова у циљу побољшања и унапређења ефикасности аутомобилских мотора. Блок мотора је највећи и најкомпликованији комад мотора са унутрашњим сагоревањем, на ком су монтирани други важни делови мотора.

Блок мотора сам чини 3-4% од укупне тежине просечног возила. Тако је одиграо кључну улогу у свим разматрањима редукције тежине. Алуминијумски ливене легуре као замена за традиционално ливено гвожђе могу да значе смањење тежине блока мотора између 40 и 55%, чак и ако је нижа јачина алуминијума у односу на сиви лив узета у обзир.

Примена алуминијумских блокова мотора у бензинским моторима почела је у касним 1970-им. Због захтевнијих техничких услова, ливена гвожђа су ограничена у дизел моторима до средине 1990-их. Око 2005. године, тржишни удео алуминијумских блокова мотора достигао 50% и његов тржишни продор је и даље у порасту.

Примена блокови за бензинске и дизел моторе од алуминијума је у порасту, што је и приказано на слици 6.29.



Слика 6.29 Произведене количине блокова мотора у западној Европи од сивог лива и ливених алуминијумских легура

Независно од потенцијала мале масе, коришћење легура алуминијума за ливење за производњу блокова има додатне погодности, као што су боље топлотне проводљивости у односу на сиви лив. На слици 6.30 приказан је блок мотора од сивог лива и алуминијума. Имајући у виду да су практично сви клипови и већи део главе мотора су такође направљени од легура алуминијума елиминишу проблеме са компатибилношћу који постоје између сивог лива и алуминијума. Као пример може се узети нагомилавање високих термичких напона у току стартовања и после заустављања мотора због различитог термичког ширења које у овом случају може да се избегне.



Слика 6.30 Сиви лив и алуминијум HPDC блок мотора

Употреба легура алуминијума за делове мотора захтева ефикасан приступ који покрива све главне компоненте: блок мотора, главу мотора, клипове и по потреби, кошуљице цилиндра.

## 6.8. Облоге за цилиндри

Сиви лив сам себи обезбеђује добро триболошко понашање за систем "цилиндар-клип-клипни прстен". Међутим, у току замене ливеног гвожђа ливачким легурама алуминијума у блоку мотора, захтева се развој новог "триболошког система". Легуре алуминијума за ливење (осим надеутектичких AlSi варијанти легура) нису довољно отпорне на хабање за ову примену. Различита решења развијена су током година, почев од увођења облога за цилиндри (слика 6.31), које се састоје од одговарајућих материјала, као истискиване или ливене, и правилно прилагођене површинској обради или технологији превлачења.



Слика 6.31 Алуминијумска облога за цилиндри

### 6.8.1. Применљиве технологије

Блокови мотора од сивог лива су углавном производи у виду монолитног облика, где сиви лив сам себи обезбеђује правилно функционисање триболошких система. Други услов је стварање оптималних површинских карактеристика које доприносе смањењу потрошње уља и производе мањи број хабајућих честица и самим тим дуг животни век.

Очигледно решење за алуминијумске блокове мотора је да се користе облоге од сивог лива. Недостаци овог хетерогеног концепта су већа тежина (посебно за моторе са великим бројем цилиндара), мања топлотна проводљивост, недостатак компатибилности и повезивање са околном ливеном легуром алуминијума. Ови проблеми у вези са хетерогеном комбинацијом се решавају употребом квази-монолитних концепата на бази алуминијума.

Монолитни концепт функционише само са надеутектичким AlSi легурама које путем примарних честица силицијума, обезбеђују површину отпорну на хабање. Недостатак блокова мотора од надеутектичких AlSi легура је да су релативно скупи.

Друга могућност да се искористе предности триболошких надеутектичких AlSi микроструктура је хетерогени концепт, при чему се облоге цилиндара праве од надеутектичких AlSi легура, а блок мотора од друге јефтиније легуре алуминијума. На слици 6.32 приказан је ливен алуминијумски блок мотора са SILITEC® облогама.

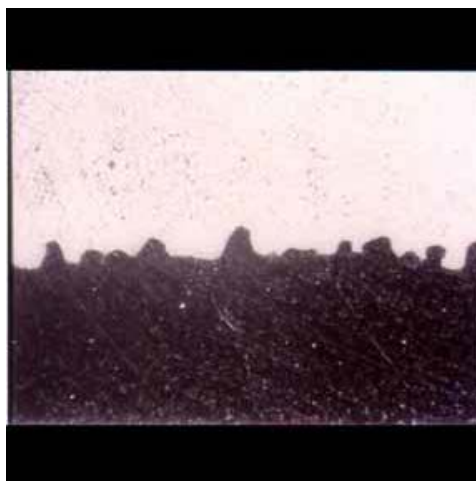


Слика 6.32 V6 алуминијумски блок мотора са SILITEC® облогама

Употребом облога цилиндара, направљених од сивог лива са неравним ливеним спољним површинама (слика 6.33 лево и слика 6.33 десно) је друга опција да се постигне бољи механички контакт када је облога цилиндра изливена (приказано на слици 6.34).



**Слика 6.33** Облоге од сивог лива а са грубим спољним површинама користећи директно ливену површину (лево) или накнадну површинску обраду (десно) обезбеђује боље механичко везивање.



**Слика 6.34** Микроскопски приказ механичког везивања између ливених легура алуминијума и облога од сивог лива са неравном површином

Још једна опција је да се користе цеви танкозидног сивог лива, која је претходно обложена прсканим слојем алуминијума, због побољшаног везивања.

Побољшана веза грубе површине ALBOND® доприноси ефикаснијем и једнообразном хлађењу цилиндара током рада мотора, односно смањену дисторзије цилиндара, мању потрошњу уља и минимизирани губитке настале трењем. Облоге цилиндара мотора, произведене од стране ALBOND® (слика 6.35), омогућују лако рециклирање јер више није потребно раздвајање облоге од блока мотора. Посебан процес хоновања има за последицу финије површине и већу отпорност на хабање.



**Слика 6.35** ALBOND® алуминијум ливене облоге цилиндра

### 6.8.2. Монолитни концепт алуминијума (ALUSIL®)

Надеутектичке AlSi легуре (AlSi17Cu4Mg, ALUSIL®) се могу користити за производњу монолитних алуминијумских блокова мотора, приказаних на сликама 6.36 и

6.37. Током очвршћавања, примарне Si честице се таложе које после одговарајућег поступка обраде и хоновања површине штите цилиндар од хабања и обезбеђују потребне триболошке карактеристике за правилан рад мотора.

Надеутектичке AlSi легуре, захтевају релативно ниске границе нечистоћа и због тога се углавном користе за бензинске моторе високих перформанси, али много мање у масовном тржишту.



Слика 6.36 V8 бензински мотор (BMW M5) направљен од ALUSIL®



Слика 6.37 V12 бензински мотор (VW) направљен од ALUSIL®

## 6.9. Глава мотора

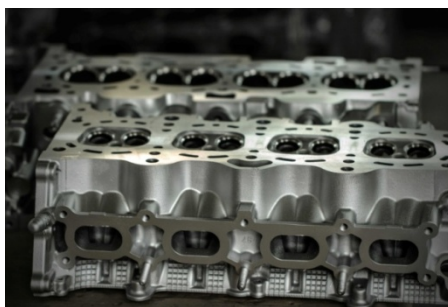
Глава мотора је део који се све чешће израђује од легура алуминијума. Француски и италијански конструктори уграђују преко 80% глава мотора од алуминијума. За њима нешто заостају немачки и енглески конструктори. У САД-у доминира ливено гвожђе, али присутни тренд указује да ће у будућности доћи до пораста примене алуминијумских материјала за израду главе мотора.

У случају главе мотора, предност алуминијума, осим у мањој маси и у високом коефицијенту топлотне проводљивости, омогућава високо топлотно оптерећење. Код дизел мотора, такође су савладани проблеми везани за високе температуре и притиске везане са топлотним замором, па се примена алуминијума за израду глава мотора сусреће све чешће.

За бензинске моторе примењују се бинарне легуре типа AlSi, као на пример AlSi9.

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

На слици 6.38 приказана је глава FIAT RITMO дизел мотора од алуминијума.



Слика 6.38 Глава мотора за FIAT RITMO дизел ливен од легура A-S7U3G

У табели 6.4 је дат преглед најчешће примењиваних легура за главе мотора

Табела 6.4 Преглед најчешћих легура за израду глава мотора

| Главни легирани елементи |     | Основни стандард | Комерцијална ознака | Стандард одговарајућег или сличног састава |
|--------------------------|-----|------------------|---------------------|--------------------------------------------|
| Si                       | 5   | UNI 3600         | G-ALSi5CuMg         | 355.2 /USA/<br>AlSi5Cu1.00 /JUS/           |
| Cu                       | 1,3 |                  |                     |                                            |
| Mg                       | 0,5 |                  |                     |                                            |
| Si                       | 5,5 | UNI 3052         | G-ALSi5, 5Cu        | 308.2 /USA/<br>AlSi6Cu4.00 /JUS/           |
| Cu                       | 4   |                  |                     |                                            |
| Si                       | 5   | -                | A-S5U3g             | -                                          |
| Cu                       | 3   |                  |                     |                                            |
| Mg                       | 0,5 |                  |                     |                                            |
| Si                       | 5   | NF A 57702       | A-S5U3              | 319.1 /USA/                                |
| Cu                       | 3   |                  |                     |                                            |

На слици 6.39 приказана је алуминијумска глава четворотактног мотора.



Слика 6.39 Алуминијумска глава четворотактног мотора

Главе мотора се обично производе гравитацијом или ливењем под ниским притиском. У Европи, главе мотора од сивог ливеног гвожђа су готово у потпуности замењене ливеним легурама алуминијума током протеклих 20 година. Алуминијум има предност због мале тежине, високе топлотне проводљивости и једноставност производње.

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

У савременим главама мотора високих перформанси, са три, четири или чак пет вентила и евентуално две свећице мора се обезбедити место што доводи до смањења простора између вентила. Ова област такође трпи највише температуре и изложена је

тешким термалним ефектима замора када се мотор загрева или хлади. На слици 6.40 приказана је глава мотора са индивидуалним пригушним телом и издувном граном.



Слика 6.40 Глава мотора са индивидуалним пригушним телом и издувном граном

## 6.10. Систем протока горива

Функција система горива је да складишти и снабдева горивом комору цилиндра, где може да се меша са ваздухом и сагорева да би се произвела енергија. Гориво, које може бити или бензин или дизел, складишти се у резервоару за гориво. Пумпа за гориво црпи гориво из резервоара и кроз цеви доставља га карбуратору и коначно га доводи до коморе цилиндра за сагоревање.

Локација резервоара и пројектовање облика и запремина увек зависе од расположивог простора. Већина возила има један резервоар који се налази у задњем делу возила. Сви резервоари имају цев са отвором за сипање горива, а гориво одводну линију до мотора и вентилациони систем.

У аутомобилима се користе две врсте пумпи; механичке и електричне. Како су се мотори удаљили од карбуратора и окренули према убризгавању горива, механичке пумпе замењене су електричним, јер системи за убризгавање горива раде ефикасније при вишим притисцима, него што механичке пумпе могу да генеришу. Електричне пумпе се обично налазе у резервоару за гориво.

Ефекти корозије су повремено примећени у картеру од алуминијумског резервоара за гориво посебно у завареним спојевима. Разлози због појаве корозије, у овом случају су због контаминација из горива (вода, хлориди и слично).

Примена алуминијума у систему за гориво нуди значајне уштеде масе у односу на челик (50 - 70%). Ипак, алуминијум је нашао до сада врло мало примене у систему за гориво путничких аутомобила.

Ово је супротно комерцијалним (теретна возила и аутобуси) и специјалним возилима где су алуминијумски резервоари стекли широку примену и постигли велики тржишни удео.

### 6.10.1. Цев за пуњење резервоара горивом

Цев за пуњење резервоара горивом производи се од екструдиране алуминијумске цеви која је савијена и тако формирана да повећа способност савијања без пуцања у случају несреће.

Друго решење за алуминијумске цеви за пуњење горивом добија се применом Permeaflex цеви (слика 6.41). Флексибилан концепт алуминијумских цеви развијен од стране Hydro Aluminium Precision Tubing, има следеће предности:

- Флексибилна монтажа,
- Један материјал дуж целе цеви,
- Елиминација веза,
- Повећан интегритет при несрећи,
- Апсорпција вибрација,
- Расхладна својства.



**Слика 6.41** Алуминијумска Permeaflex цев за пуњење горивом код модела Audi A8

#### 6.10.2. Цеви за развод горива

Цеви за развод горива могу бити произведене на различите начине.

- Прецизно извучене цеви,
- Permeaflex флексибилна цев алуминијума (голе или обложене РА 12),
- НУСОТ<sup>TM</sup> цеви (слика 6.42).



**Слика 6.42** НУСОТ<sup>TM</sup> алуминијумске цеви за гориво обложене са РА 12

НУСОТ<sup>TM</sup> цеви су екструдиране и прецизно извучене из алуминијумских цеви са облогом РА 12 и имају следеће карактеристике:

- Мала тежина,
- Лако савитљиве,
- Одлична отпорност на корозију
- Мале толеранције,
- Висок квалитет површине,
- Отпорност на удар камена,
- Унутрашња чистоћа.

### 6.10.3. Резервоар горива

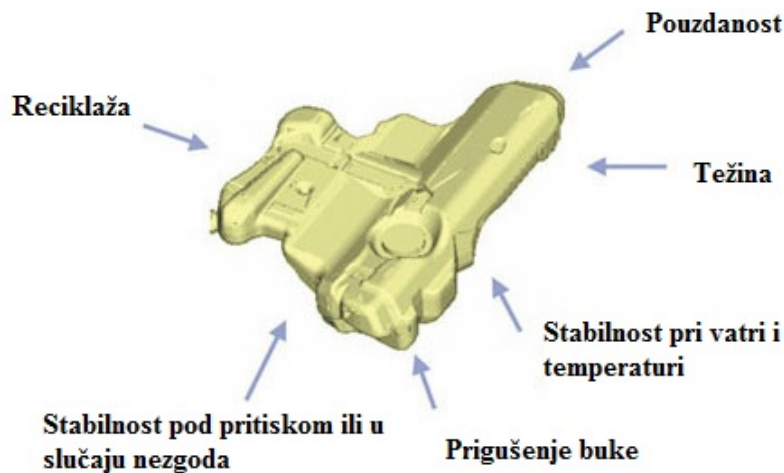
За свако ново возило развија сепецифичан систем за смештај горива а у циљу оптимизације коришћења расположивог простора. Штавише, за један модел аутомобила, развијају се различите архитектуре система за смештај горива, у зависности од типа аутомобила, типа горива (бензин или дизел), модела млазница итд.

Две технологије се користе за прављење резервоара горива за аутомобиле:

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

### 6.10.4. Технички захтеви

Као што је наведено на слици 6.43, љуска резервоара мора да испуни неколико техничких услова, што драстично ограничава избор материјала. Специфичне карактеристике алуминијума обећавају да задовоље све услове за примену резервоара за гориво у путничким аутомобилима.



Слика 6.43 Услови које треба да испуни резервоар за гориво

Значајни развојни напори су уложени да се искористе предности алуминијумских резервоара горива за путничка возила:

- Избор одговарајуће алуминијумске легуре,
- Отпорност на корозију,
- Обрадивост,
- Заптивање,
- Поузданост.

## 6.11. Топлотна изолација

Топлотна изолација, направљена је да би штитила компоненте од апсорбовања прекомерне топлоте, рефлектујући или једноставно апсорбујући топлоту. Површине делова које заправо носе издувне гасове могу достићи температуре до око 900 ° С. Пошто ауспуси често пролазе близу важних (и термички осетљивих) компоненти, посебно је важно да се заштите осетљиви делови и модули од топлотне енергије, али и да спречи локално прегревање тела аутомобила.

Инсталација топлотне изолације, једна је од најчешће коришћених опција за управљање топлотом и често се користи због своје економичности. Раније, топлотна изолација, прављена је од алуминизираниог челика. Међутим, данас се обично користе алуминијумски лимови и фолије, често у комбинацији са керамичким превлакама или простиркама изолационих материјала. Алуминијумске топлотне изолације, једнослојне или вишеслојне конструкције, у стању су да заштите компоненту од прилично високих температура. На слици 6.44 приказана је топлотна изолација издувног система гасова.



Слика 6.44 Топлотна изолација издувног система

Физичке особине алуминијума - рефлексије и емисивности, топлотна проводљивост и специфична топлота - чине га идеалним материјалом за израду топлотних изолатора.

- Висока рефлексија и ниска емисија површине алуминијума, обезбеђује да алуминијум апсорбује и рефлексију и емисију и да поново емитује мало инфрацрвено зрачење.
- Висока топлотна проводљивост алуминијума обезбеђује топлоти да се спроводи далеко од потенцијалних жаришта у топлотној изолацији.
- Алуминијум такође има високу специфичну топлоту. То значи да температура расте након апсорпције, а задата количина топлотне енергије је мања него за многе друге материјале.

Алуминијумски лимови и фолије су погодни да задовоље различите производне и услужне потребе аутомобилских топлотних изолација. Најважнији услов је добра обрадивост у циљу задовољења екстремних ограничења. Топлотна изолација мора да покрије вруће компоненте колико је то могуће и што је ближе могуће (слика 6.45). Простор је ограничен, посебно у моторном простору и подручју доњег дела возила па топлотна изолација има прилично сложене облике.

Други важан услов је одлична отпорност на корозију. Влажност и повишене температуре, релевантни су фактори средине за топлотну изолацију. Поред тога, већина топлотних изолација директно је изложена загађењу са пута. Загађивачи попут слане воде, уличне прљавштине и блата не смеју, током животног века аутомобила, довести до

неприхватљиве корозије топлотне изолације. Алуминијумски топлотне слојеви су често везани за челичне компоненте, тако да треба водити рачуна и о галванској корозији. Мали каменчићи и друге компоненте са пута, могу довести до озбиљнијих локалних деформација доње стране топлотне изолације возила. Штавише, у случају задњег судара, топлотна изолација мора да заштити пластични резервоар горива од пуцања и других оштећења од врелих издувних делова.



Слика 6.45 Топлотни штит

#### 6.11.1. Избор легура алуминијума за топлотну изолацију

Данас, стандардни материјал за изолацију је легура алуминијума EN AW-1050A. Особине те легуре су:

- Одлична отпорност на корозију,
- Добра обрадивост на хладно,
- Адекватна затезна чврстоћа,
- Одлична апсорпција енергије пре пуцања (ударом камена, саобраћајној несрећи).

Осим EN AW-1050A још се користе и неке друге легуре алуминијума као што су: EN AW-3003, EN AW-5052 и EN AW-5182. Топлотна изолација направљена од легура веће чврстоће може бити више отпорна на оштећења (посебно са доње стране возила) или може бити направљена од тањих лимова. Међутим, лошија обрадивост на хладно ових легура ограничава њихову примену, због сложене геометрије многих врста топлотних изолација (слика 6.46).



Слика 6.46 Релјефна топлотна изолација

### 6.11.2. Дизајн топлотне изолације

При нормалним условима вожње, топлотна изолација треба да заштити делове од околних извора топлоте са површинским температурама до 650 ° С. Али такође може се јавити значајно виша температура, на пример оштећење свећица може довести до прегревања катализатора а, самим тим, делови издувног система ће такође достићи абнормално високе температуре. Виша температура и мање растојање између извора топлоте и компоненте аутомобила, захтева компликованији дизајн топлотних изолација.

У основи постоје три врсте тих изолација:

- Једнострука топлотна изолација. Појединачни лимови топлотних изолација се користе за заштиту од извора топлоте на релативно ниској температури, посебно када има довољно слободног простора.
- Двострука топлотна изолација. Ове топлотне изолације од два алуминијумска лима користе се на умереним температурама. За једноструке и двоструке изолације, користи се алуминијум дебљине од 0.3 – 1.0 mm (приказ на слици 6.47). Лимови могу бити рељефни са повећаном крутошћу.

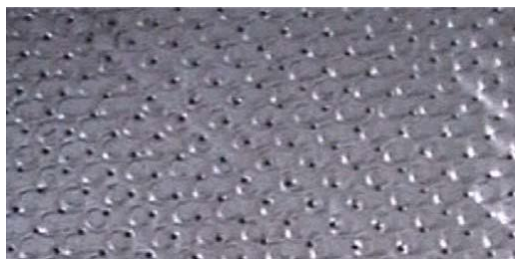


Слика 6.47 Једнострука топлотна изолација

- Сендвич топлотне изолације. За заштиту од највиших температура и у случајевима тешких ограничења простора, користе се топлотне изолације дизајна сендвича. Поменути дизајн се обично састоји од једног носећег лима (0.3 - 1.0 mm дебљине алуминијума), изолационог језгра и поклопца (0,03 до 0,1 mm, алуминијумске фолије или 0,2 до 0,5 mm, алуминијумски лим). Језгро се може изградити од неколико слојева рељефних алуминијумских фолија (0.03 - 0.05 mm дебљине), који су заједно у сендвичу. Простирка од стаклених влакана такође може бити изолациони подметач. У зависности од температурног опсега, други типови влакана (памучна, целулозна, итд) се такође могу користити.

У изради топлотних изолација, мора се узети у обзир специфична конфигурација ивица. Геометрија ивице алуминијума топлотних изолација мора бити изабрана тако да смањи ризик повреде током руковања (производња, монтажа и одржавање/поправка аутомобила).

Поред термалног управљања, изолације типа сендвич су такође корисне за заштиту од буке у колима и за смањење емисија буке у животној средини (слика 6.48).



*Слика 6.48 Изолација са делимичном перфорацијом која апсорбује буку*

Друго могуће решење је да буку апсорбује топлотна изолација која се састоји од два слоја лима дизајнираног са вискоеластичним језгром оптимизованим за пригушивање звука (слика 6.49).



*Слика 6.49 Топлотна изолација са вискоеластичним слојем која апсорбује звук*

## **6.12. Размењивачи топлоте**

Данашњи измењивачи топлоте морају да испуњавају низ веома захтевних услова. У погледу перформанси, морају да обезбеде максимални пренос топлоте задржавајући своју величину на најмању могућу меру. Осим тога, постојаност измењивача топлоте мора бити изузетно висока, пружајући им несметани рад током радног века, при ниским трошковима производње. Алуминијум, у својим различитим облицима, нуди добре могућности за постизање ових циљева, а такође је добро позициониран да одговори на изазове све већих захтева тржишта за ниске трошкове енергетски ефикасних производа.

Алуминијумски размењивачи топлоте се користе у једној од следећих примена:

- Хлађење мотора (хладњаци),
- Хлађење уља (уље у мотору, ручни и аутоматски мењач, серво, итд.),
- Кондензатори и испаривачи за климатизацију,
- Грејачи,
- Пуњење ваздуха, издувних гасова и хлађење горива.

У свакој апликацији, размењивач топлоте мора да испуни одређене захтеве тражећи различите концепте дизајна и производње, као и карактеристика материјала. С друге стране, због појачаних захтева на компактности у комбинацији са лаком масом, измењивачи топлоте се све више производе као модули. Комбинација и до четири измењивача топлоте у предњој конструкцији неког возила је тренутно стање технике које значајно смањује укупну запремину, тежину и цену укупног система хлађења.

Примена алуминијумских размењивача топлоте заснована је на две компоненте: уштеда остварена заменом скупе сировине бакра, са мање скупом сировином алуминијума и уштеда која се прави применом високих перформанси производа и ефикаснијим производним процесом. Алуминијум нуди велики број повољних карактеристика за размењиваче топлоте:

- Мала густина алуминијума па и мала маса размењивача,
- Високо аутоматизован и поуздан производни процес (лемљење),
- Висока топлотна проводљивост,
- Одлична отпорност на корозију,
- Добра обрадивост,
- Адекватна јачина да се одупре притиску и температури,
- Једноставна рециклажа, односно еколошко решење,
- Комерцијална доступност широког спектра легура алуминијума и облика производа да задовоље различите опције дизајна.

Иако постоји широк спектар дизајнерских концепата за алуминијумске размењиваче топлоте, они неминовно спадају у једну од следећих категорија:

- Цев/ребро (слика 6.50),
- Плоча-ребро,
- Плоча-трака.

Већина размењиваче топлоте који се користе у данашњим аутомобилима засновани су на дизајну цев/ребро.



*Слика 6.50 Дизајн хладњака цев/ребро*

Постоје две различите технике монтаже алуминијумских измењивача топлоте за производњу цеви/ребара:

- Механичка монтажа,
- Лемљење.

Израда ове две врсте размењивача топлоте захтева различите процесе, опрему и често различите легуре. Основна предност механички састављених размењивача топлоте у односу на лемљене размењиваче топлоте је нижа цена инвестиције. Али лемљени размењивачи топлоте имају боље термалне перформансе у односу на механички састављене. Сходно томе, лемљење је доминантан метод монтаже алуминијумских размењивача топлоте. У одређеним случајевима, и друге технологије спајања могу се применити у производњи компоненти размењивача топлоте. Значајно побољшане перформансе ових измењивача топлоте нуде потенцијал за значајно смањење трошкова система кроз смањење тежине и величине, смањење захтева за напајање вентилатора, повећаном трајношћу, итд. Размењивачи топлоте за једнофазна течна средства за

хлађење или уља су првенствено дизајнирани користећи округле цеви (приказ на слици 6.51)



**Слика 6.51** Заварене округле цеви које се могу користити за размењиваче топлоте

Лемљени размењивачи топлоте од алуминијума показују металуршку везу између цеви и ребара који поседују позитиван утицај на неколико мера учинка. Најважнија је елиминација отпора контакта између цеви и ребара што доводи до знатног побољшања провођења топлоте. Више различитих процеса лемљења се користи за производњу алуминијумских размењивача топлоте и то:

- Лемљење у контролисаној атмосфери,
- Лемљење у Вакууму,
- Ni лемљење.

Међутим, алуминијумски измењивачи топлоте за аутомобиле се данас углавном производе лемљењем у контролисаној атмосфери и лемљењем у вакууму. Ni лемљење аутомобилских размењивача топлоте данас се врло ретко користи.

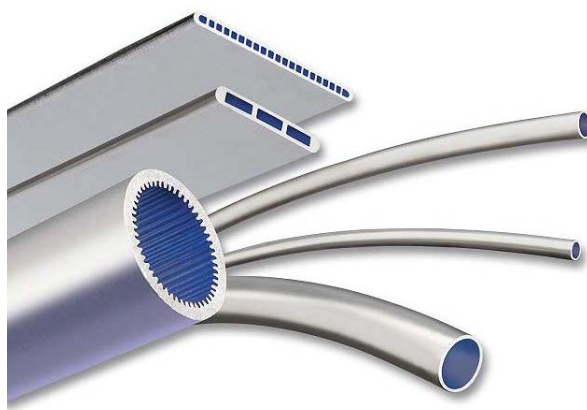
Погодни материјали алуминијума за лемљење у облику лимова и цеви могу бити испоручени у различитим комбинацијама легура, стања, дебљине и ширине а према спецификацијама купца.

Правилан избор алуминијумских легура и облика производа нуди могућност да се развијају и производе разне врсте размењивача топлоте који се користе у модерним аутомобилима и да одговоре на све веће захтеве тржишта у погледу бољих перформанси за пренос топлоте, али и смањење тежине, величине и трошкова.

За размењиваче топлоте различитих врста, користе се ваљани и екструдирани алуминијумски производи.

Специфичне карактеристике материјала алуминијумских размењивача топлоте разликују се у зависности од облика производа. Сходно томе, неколико система алуминијумских легура, користе се у размењивачима топлоте и постоје бројне варијанте легура, које су развијене ради постизања оптималних перформанси.

Екструдиране цеви (слика 6.52) доступне су у различитим облицима, величинама и легурама. Осим једноставних вучених цеви, цеви размењивача топлоте укључују и прецизно округле или овалне вучене цеви, као и истискивање цеви са више грана (МРЕ). Иако екструдиране алуминијумске цеви немају исте карактеристике као прецизно извучене цеви оне могу да представљају економичну алтернативу у мање захтевним апликацијама.



*Слика 6.52 Екструдиране цеви измењивача топлоте различитих дизајна*

Округле цеви су често са глатким зидом. У случају прецизно извучених цеви, процес калибрације обезбеђује висок спољни квалитет површине као и уске геометријске толеранције. Алуминијумске легуре, као што су EN AW-1050, EN AW-3003, EN AW-5049 и EN AW-6106 и модификације ових састава користе се како за екструдиране тако и за прецизно извучене цеви размењивача топлоте.

У принципу, хладњак се састоји од алуминијумског језгра и два везана резервоара који покривају крајеве хладњака као и свих потребних прикључака за причвршћивање елемената. Језгро радијатора, обично је направљено од спљоштених алуминијумских цеви и алуминијумског ребра који кривуда између цеви, (слика 6.53). Ова ребра преносе топлоту струјањем ваздуха поред цеви и односе је далеко од возила.



*Слика 6.53 Алуминијумски хладњак*

## **6.13. Остале компоненте мотора**

### **6.13.1. Колектори и кућишта трансмисија**

За уисне колекторе од алуминијумских легура, у Европи се претежно уотребљава ливена легура типа AlSi9 и заступљена је у око 70% случајева. Примењује се технологија кокилног и потисног лива. Материјали који се употребљавају за израду уисних колектора, наведени су у табели 6.5.

Табела 6.5 Преглед основних легура за производњу усисних колектора

| Главни легирајући елементи |     | Основни стандард | Комерцијална ознака | Стандард одговарајућег или сличног састава |
|----------------------------|-----|------------------|---------------------|--------------------------------------------|
| Si                         | 5   | UNI 3600         | G-AlSi5CuMg         | 355.1 /USA/<br>AlSi5Cu1.00 /JUS/           |
| Cu                         | 1,3 |                  |                     |                                            |
| Mg                         | 0,5 |                  |                     |                                            |
| Si                         | 7   | UNI 3599         | G-AlSi7MgMn         | 356.1 /USA/                                |
| Mg                         | 0,3 |                  |                     |                                            |
| Mn                         | 0,5 |                  |                     |                                            |
| Si                         | 8,5 | UNI 5075         | G-AlSi8, 5Cu3, 5Fe  | B 380 /USA/<br>AlSi8Cu3.00 /JUS/           |
| Cu                         | 3,5 |                  |                     |                                            |
| Fe                         | 1   |                  |                     |                                            |
| Si                         | 9   | UNI 3051         | G-AlSi9MnMg         | A 360.2 /USA/                              |
| Mn                         | 0,5 |                  |                     |                                            |
| Mg                         | 0,3 |                  |                     |                                            |
| Si                         | 9   | UNI 7369-74-III  | -                   | UNI 3050 /I/                               |
| Cu                         | 1   |                  |                     |                                            |
| Mg                         | 0,5 |                  |                     |                                            |

### 6.13.2. Карбуратор

Карбуратор је такође детаљ који се у последње време производи од легура алуминијума. Први покушаји су били реализовани одмах након 1945. године и били су израђени од легура из групе AlSi. Касније се прешло на легуре других типова, као на пример G-AlSi8 и Zn-Al. На слици 6.54 приказани су алуминијумски карбуратори.



Слика 6.54 Алуминијумски карбуратори

### 6.13.3. Поклопац главе мотора

Данас алуминијумске легуре имају скоро ексклузивну примену за израду поклопаца, картера и кутија. Поклопци и картери се у Европи израђују од алуминијумских легура у 80

до 100% случајева. У табели 6.6 дат је преглед најважнијих легура за ту намену. Неке од њих су секундарног порекла и користе се углавном за технологију силе ливења. На слици 6.55 приказан је поклопац главе мотора.

**Табела 6.6** Преглед основних легура за израду картера, поклопаца и кутија

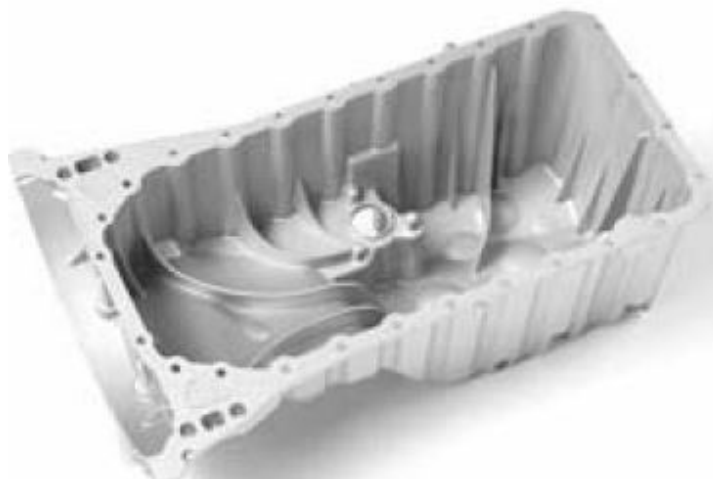
| Главни легирајући елементи |     | Основни стандард | Комерцијална ознака       | Стандард одговарајућег или сличног састава                 |
|----------------------------|-----|------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|
| Si                         | 8,5 | UN5075           | GD- $\text{AlSi85Cu35Fe}$ | B 980 /USA/<br>$\text{AlSi8Cu3.00 /JUS/}$                  |
| Cu                         | 3,5 |                  |                           |                                                            |
| Fe                         | 1   |                  |                           |                                                            |
| Si                         | 12  | UNI 5076         | GD- $\text{AlSi12Cu2Fe}$  | $\text{AlSi12Cu/Fe/.00/JUS/}$                              |
| Cu                         | 2   |                  |                           |                                                            |
| Fe                         | 1   |                  |                           |                                                            |
| Si                         | 9   | UNI 7369-74-III  | SG- $\text{AlSi9Cu1}$     |                                                            |
| Cu                         | 1   |                  |                           |                                                            |
| Mg                         | 0,5 |                  |                           |                                                            |
| Si                         | 6   | UNI 7369-74-IV   | SG- $\text{AlSi6Cu}$      | $\text{AlSi6Cu2.00 /JUS/}$                                 |
| Cu                         | 2   |                  |                           |                                                            |
| Mg                         | 0,5 |                  |                           |                                                            |
| Fe                         | 1   | NF A 57703       | A-S9 U3                   | Uni 3601/I/<br>A 380.1 /USA/<br>$\text{AlSi8Cu3.00 /JUS/}$ |
| Si                         | 9   |                  |                           |                                                            |
| Cu                         | 3   |                  |                           |                                                            |
| Fe                         | 1   |                  |                           |                                                            |



**Слика 6.55** Алуминијумски поклопац главе мотора произведен ливењем под високим притиском

#### 6.13.4. Картери (судови за уље)

Са техничке тачке гледишта, постоје многе паралеле између посуда за уље и поклопаца главе мотора (приказ на слици 6.56). Главни захтеви обе компоненте су јачина, побољшана звучна изолациона својства, редукција тежине и могућа интеграција додатних функција. Као резултат његовог положаја на дну мотора, картер може бити предмет удара камена због чега мора бити у стању да буде отпоран на такве ударе.



*Слика 6.56 Алуминијумски картер произведен ливењем под високим притиском*

### **6.13.5. Пумпе**

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

Данашњи мотори захтевају велике протоке уља. Пошто конвенционалне пумпе за уље не испуњавају ове услове под свим радним условима мотора, било је неопходно развити нове системе. Циљ је да се обезбеде пумпе које испуњавају све функционалне захтеве задржавајући максималну ефикасност и постизање и најмањих могућих губитака. На слици 6.57 приказане су пумпе за уље са различитим кућиштима.



*Слика 6.57 Пумпе за уље са различитим алуминијумским кућиштима*

### **6.13.6. Усисна грана**

У мотору са унутрашњим сагоревањем, усисна грана је део мотора који снабдева цилиндар горивом/ваздушном смешом. Њена главна сврха је да равномерно дистрибуира смешу сагоревања или само ваздух у мотору са директним убризгавањем. Чак је и дистрибуција важна да се оптимизује ефикасност и перформансе мотора. Она такође може служити као носач карбуратора, регулатора притиска горива, брызгальке горива и другим компонентама мотора.

Историјски гледано, усисна грана је раније произвођена од ливеног гвожђа, данас највише од легура алуминијума, али употреба композитних пластичних материјала такође

добија популарност. Алуминијумски прикључци су обично дизајнирани технологијом ливења под високим притиском, која омогућава производњу танкозидних компоненти веома сложеног облика као и интеграцију додатних функција. Постоје такође и дизајни базирани на основу кованог алуминијума. На слици 6.58 је приказана усисна грана са интегрисаним ваздушним хладњаком.



**Слика 6.58** Усисна грана са интегрисаним ваздушним хладњаком - Audi 8 цилиндара ТДИ (алуминијумски хибрид дизајн произведен ливењем под високим притиском)

## 6.14. Браници

Браници од легура алуминијума (слика 6.59) се израђују од лимова или пресованих профила већ преко две деценије и замењују бранике од челичних лимова, чија маса достиже код већих аутомобила и до 40 до 50kg.

У техничком смислу имамо две категорије алуминијумских браника. У првом случају се ради о браницима скромних механичких својстава, код којих се јављају оштећења и при лаганим градским сударима. У другу групу спадају браници који без оштећења подносе, такозване, градске сударе при брзини 8.8 km/h. Концепција таквих браника се састоји у спречавању оштећења аутомобила при лакшим сударима у градској вожњи, на паркингу и слично. Да би удовољили овим захтевима, њихова маса износи свега трећину браника израђених од челика. Као пример често се цитира случај кола Форд Фајермонт (Ford Firemont), код којих се од 1978. године уграђују браници из екструдираних профила алуминијумске легуре 7029, а имају масу, свега 12.5kg према 40kg раније уграђиваних браника од челичног лима. Користећи изворна својства алуминијума, применом хемијског полирања и анодне оксидације, осим антикорозивне заштите, остварен је и трајан декоративан ефекат.



**Слика 6.59** Алуминијумски браник аутомобила RenaultClio III

У примени алуминијумских браника, предњачи аутомобилска индустрија САД, која је још 1978. године на 20% аутомобила имала уграђене алуминијумске бранике.

У табели 6.7 је приказан преглед основних легура за производњу браника.

Табела 6.7 Легуре за производњу браника

| Група и легура | Основни стандард | Састав у %          | Одговарајући или сличног састава |
|----------------|------------------|---------------------|----------------------------------|
| Al-Zn-Mg       | 7020             | Zn4, 4;Mg1,2        | AlZn5Mg1.00 /JUS/                |
| Al-Zn-Mg       | 7005             | Zn4,5;Mg1,4         | AlZn4,5Mg1 /DIN/                 |
| Al-Zn-Mg       | 7016             | Zn4,6;Mg1;Cu0,7     | -                                |
| Al-Zn-Mg       | 7016             | Zn4,5;Mg2,5         | -                                |
| Al-Zn-Mg       | Brizal S         | Zn4,5;Mg1,45;Cu0,15 | -                                |
| Al-Zn-Mg       | 7029             | Zn4,5;Mg1,6;Cu0,7   | -                                |
| Al-Zn-Mg       | 7021             | Zn5,5;Mg1,5         | -                                |
| Al-Zn-Mg       | 7146             | Zn7;Mg1,3           | -                                |
| Al-Mg-Si       | 6060             | Mg0,5;Si0,5         | AlMgSi0,5.00 /JUS/               |
| Al-Mg-Si       | 6063             | Mg0,7;Si0,4         | -                                |
| Al-Mg-Si       | 6005             | Mg0,5;Si0,8         | -                                |
| Al-Mg-Si       | 6061             | Mg1;Si0,6           | AlMg1SiCu.00 /JUS/               |
| Al-Mg          | 5252             | Mg2,5               | AlMg2,5 /DIN/                    |

### 6.15. Каросерија

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

- Специјални челици,
- Пластични материјали,
- Алуминијум.

Алуминијум има две значајне предности. То је знатно смањење масе и решење корозивних проблема.

У квантитативном смислу, примена алуминијумских материјала у конструкцији каросерије, данас нема веће значење. Код неких типова аутомобила се алуминијумски материјали користе углавном за покретне делове каросерије, а не за комплетну шкољку. Примена алуминијумских материјала у те сврхе праћена је значајним учешћем иновација на постојећим конструкцијама и технологији израде. При том је био нужен прелаз са коришћења легура типа Al-Mg, које поседују оптимална својства обликовања екструдирањем, али са ограниченим механичким својствима, на легуре које се топлотно ојачавају. Оне поседују одличне механичке карактеристике, изврсна својства деформабилности, као и повишена антикорозиона својства (осим групе 2000). У табели 6.8 је дат приказ најчешће употребљиваних легура за ову намену.

Посебно је интересантна примена алуминијумских материјала за израду каросеријске надградње код друмских теретних возила и аутобуса. За надградњу киперских теретних возила због карактера терета и радних услова, морају се примењивати легуре високих механичких својстава уз задовољавајућа антикорозиона својства. То су легуре из групе AlZnMg. На слици 6.60 приказан је теретни киперски камион, чија се приколица састоји од носеће конструкције патоса, који је направљен од од челичног лима, а странице од дуплих алуминијумских панела.

Табела 6.8 Легуре за производњу компонената каросерија

| Група легура | Основни стандард      | Састав у %                 | Одговарајући и сличан састав                      |
|--------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------------------------------|
| Al – Mg      | P–AlMg0,8 UNI 5764-66 | Mg 0,8                     | 5005 A.A /USA/<br>AlMg1.00 /JUS/                  |
| Al – Mg      | P–AlMg2,5 UNI 3574    | Mg2,5; Mn0,3               | 5052 A.A. /USA/<br>AlMg2,5 /DIN/<br>AG 2,5 NF /F/ |
| Al – Mg      | A–G3M NF A 50451      | Mg3; Mn0,1                 | 5754 A.A /USA/<br>AlMg3.00 /JUS/                  |
| Al – Mg      | 5020 A.A              | Mg3; Cu1,5; Mn0,4          | -                                                 |
| Al – Mg      | 5182 A.A              | Mg4,5; Mn0,4               | -                                                 |
| Al – Mg      | 5056 A.A              | Mg4,7; Mn0,5               | AlMg5.00 /JUS/                                    |
| Al – Mg – Si | 6061                  | Mg1; Si0,6; Cu0,3          | P–AlMg1SiCu<br>UNI 6170-68<br>AlMg1SiCu.00 /JUS/  |
| Al – Mg – Si | 6009                  | Mg0,6; Si0,8; Cu0,4; Mn0,5 | -                                                 |



Слика 6.60 Киперско теретно возило направљено од легура алуминијума

Код аутобуских елемената конструкција се израђује од екструдираних профила од легура из група Al-Zn-Mg и Al-Mg-Si, а оплатни делови од легура из група Al-Mg-Si и Al-Mg. Механичка својства материјала омогућавају израду самоносивих конструкција. На слици 6.61 је приказана конструкција каросерије аутобуса од легура алуминијума.



Слика 6.61 Каросерија аутобуса израђена од легуре алуминијума

## 6.16. Пренос и погонска група

Значајне количине алуминијума се не примењују само у мотору, већ и у остатку погона, односно у различитим компонентама погонске групе. Најважније алуминијумске апликације су различита кућишта, али алуминијум се такође користи за различите функционалне компоненте (нпр. хидрауличне компоненте, аутоматских мењача, погонских вратила, итд).

Алуминијум је углавном изабран због своје лакоће. Даље, пресудни фактори су његове одличне карактеристике одвођења топлоте, врло добра обрада алуминијумских легура, као и могућност производње веома сложених компонената танких зидова. Већина алуминијумских кућишта за апликације преноса и погонске групе се добијају ливењем под високим притиском, али се могу применити и друге софистициране технике за ливење.

### 6.16.1. Кућишта за компоненте погонске групе

Постоји неколико компоненти у погонским групама где се користи алуминијум. Најважнија су кућишта за диференцијалом, односно уређај који дели обртни момент на два начина омогућавајући сваком точку да се окреће на различитој брзини. Погону на свим точковима возила потребан је диференцијал између сваког сета точкова али и између предњих и задњих точкова (слика 6.62).



Слика 6.62 Кућиште диференцијала направљено ливењем под притиском од легуре алуминијума

### 6.16.2. Алуминијумска погонска вратила

Погонско вратило преноси снагу, коју производи мотор, из преноса на задњу осовину или предњу осовину. Погонска осовина је склоп једног или више цевастих вратила, повезаних карданских зглобом са константном брзином зглобова или флексибилном спојницом. Број цевастих комада и зглобова зависи од удаљености између мењача и осовине и/или од присуства карактеристика доње стране возила.

На неким возилима са четири точка, један кардан се користи за пренос снаге на задње точкове, а други се користи за предње точкове. У овом случају, други кардан је смештен између преноса мењача и предње осовине (слика 6.63).



**Слика 6.63** Алуминијумско карданско вратило за модел серије BMW 5

Погонска вратила се праве од челичних, алуминијумских или композитних цеви повезаних челичним или алуминијумским везама. Разлог за коришћење лаких материјала у погонским вратилима је смањење инерције, као и амортизовање вибрација. Чињеница да сви делови имају ротационе симетрије и да заваривање трећем дозвољава везу између алуминијума и челика, довело је до тога да се погонске осовине састоје од алуминијумских цеви заварених трећем за карданске зглобове од кованог челика. Кардански зглобови могу да се праве и ковањем од легура алуминијума (слика 6.64).



**Слика 6.64** Ковани алуминијумски кардански зглоб

На слици 6.65 приказан је једноделни кардан, који се обично користи код лаких камиона и теренских возила.



**Слика 6.65** Једноделни предњи кардан

## **7. Закључак**

Руда из које се електрометалуршким методама добија алуминијум, назива се боксит.

Алуминијум може да се користи као технички чист или као легура. Он се легира са: манганом, магнезијумом, цинком, хромом, силицијумом итд., а те легуре се даље деле на оне које се термички обрађују и не обрађују.

Алуминијум и легуре алуминијума се веома добро обрађују деформисањем, термички, ливењем и заваривањем. Израђују се у различитим облицима полуфабриката, као што су лимови профили, шипке, траке, цеви, жице и сл. Алуминијум карактеришу веома добре физичке, хемијске и механичке особине.

У машинству, алуминијум и легуре алуминијума, имају широку примену.

Данас је просто немогуће замислити, авио или аутомобилску индустрију без алуминијума и његових легура. Овај материјал направио је револуцију у овим областима примене.

Недавно спроведене студије, показале су да је употреба алуминијума у аутомобилској индустрији у Европи показала стабилан раст, јер се велики број делова производи од алуминијума и његових легура. Додуше, постоје и делови, који могу бити произведени од алуминијума, али због разних олакшица, праве се од других материјала, на пример пластике, али то су претежно делови, који нису изложени високим температурама. Алуминијум се користи за производњу бројних компоненти аутомобила, укључујући делове мотора, каросерије, па чак и ентеријера.

Током 1990 године, аутомобили су у просеку имали око 50 килограма алуминијума и његових легура у себи. До 2005. године, овај број, порастао је до 135 килограма, до 2010. године има још додатних 25 килограма, а све то због повећаног броја делова, који се праве од алуминијума.

Алуминијум је доста лакши од конвенционалног челика, а омогућава смањење тежине возила и побољшање његове економичности. Једини проблем јесте цена овог метала, будући да је она већа од цене челика и пластика.

Са снижењем трошкова производње алуминијума сигурно је да ће његова примена у аутомобилској индустрији бити све чешћа.

## *Литература*

- [1]. Јовановић М., Адамовић Д., и др.: Машински материјали, Крагујевац 2003.
- [2]. Девеџић. Б.: Машински материјали II, Машински факултет у Крагујевцу, 1980.
- [3]. Ђорђевић В.: Машински материјали – први део, Машински факултет, Београд, 1999.
- [4]. Ђукић В.: Машински материјали, Крагујевац, 1994.
- [5]. Лучић Р.: Машински материјали, Научно инжењерство, II издање, "Вук Караџић", Параћин, 1995.
- [6]. Група аутора.: Алуминијски материјали, Загреб, 1985.
- [7]. <http://www.alueurope.eu/aam/> мај 2014. године
- [8]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium> мај 2014. године
- [9]. <http://www.tehnickaue.edu.rs/srp/cas/?conid=1901> мај 2014. године