



АЛУМИНИЙ И АЛУМИНИЕВИТЕ СПЛАВИ ВЪВ ВИСОКОСКОРОСТНИЯ ЖЕЛЕЗОПЪТЕН ТРАНСПОРТ

Анна Бузекова-Пенкова

a_bouzekova@space.bas.bg

*Институт за космически изследвания и технологии,
Българска Академия на Науките
София 1113, ул. "Акад. Георги Бончев", блок 1,
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** алуминий, алуминиеви сплави, високоскоростни влакове, железопътен транспорт*

***Резюме:** През последните десетилетия алуминият и алуминиевите сплави се превърнаха в незаменими материали в производството на високоскоростни влакове. Тяхното леко тегло, здравина, издръжливост и устойчивост на корозия осигуряват по-лека конструкция на високоскоростните влакове, увеличаване на скоростта, надеждността и енергийната ефективност. Използването им води до намаляване на разходите за производство и поддръжка, което ги прави предпочитан материал за бъдещо производство на високоскоростни влакове. Този доклад предоставя кратък преглед на видовете алуминиеви сплави, използвани във високоскоростния железопътен транспорт.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Железопътният транспорт е важна част от транспортната индустрия, включва основно железопътни леки вагони, товарни влакове, високоскоростни влакове, метростанции, релси и др. Индустрията революционизира с появата на високоскоростни влакове, които са най-ефективната алтернатива на въздушния транспорт за пътувания до 1200 км. Те са бъдещето на пътуването. Високите скорости, които развиват влаковете, съкращават времето на пътуване, опазват околната среда поради ниската консумация на енергия, по-безопасни са, обхващат всички аспекти на удобството на пътниците и са по-ефективни. По релси могат да се превозват много повече хора в рамките на същите ограничения на натоварването на осите.

Инженерите и производителите непрекъснато разработват по-леки, по-бързи, по-безопасни, издръжливи и енергийно ефективни дизайни на влакове, които да са конкурентоспособни на въздушния транспорт. Увеличаването на скоростта на железопътните превозни средства като същевременно намаляване на потреблението на енергия се постига чрез намаляване на теглото на железопътните превозни средства. Ползата от олекотяването е намалена енергия, която от своя страна да води до намалени разходи за гориво и намалени въглеродни емисии. Друга полза от по-ниската маса е последващото намаляване на натоварването на долните оси, което да доведе до намалени щети на релсите (инфраструктурата) [1-4]. Алуминият и алуминиевите сплави

отговарят на всички тези изисквания, които се прилагат към материалите, използвани за изработване на влакове, особено за тези, които се движат с 200 км/ч или по-високи скорости от на 350 км/ч. Алуминият е лек материал с висока пластичност, притежава добро съотношение, здравина към тегло и висока устойчивост на корозия [5-7]. Сред конструкционните материали алуминият и алуминиевите сплави заемат почетно място. Поради голямото разнообразие от сплави [8,9], алуминият може да отговори на почти всяко от предизвикателствата, породени от железопътната индустрия. Това се дължи на способността да се постигат уникални комбинации чрез примесните елементи за подобряване на свойствата и експлоатационните характеристики [7,10-12]. Влаковете, изработени от тези материали, постигат много добро херметично уплътнение, особено необходимо при приложението на високоскоростните влакове.

Приложение на алуминиевите сплави във високоскоростните влакове

През годините приложението на алуминиевите сплави в изграждането на високоскоростни влакове нараства. Като се почне от конструкцията, каросерията на влака, кухи стенни панели, и се стигне до интериора, парапети, прозорци, вход/изход врати, вентилационни отвори и т.н. (Фиг.1).



Фиг. 1. Части от алуминиеви сплави за високоскоростни влакове [13]

Днес се произвеждат изцяло високоскоростни влакове от алуминий и сплавите му. Изцяло алуминиева конструкция, в която основните структурни компоненти са изработени от алуминиеви сплави (Фиг.2). Лекотата на материала води до по-бързо ускорение и по-ниски разходи за движение в комбинация с намалено износване на влаковете и релсите.



Фиг. 2. Алуминиеви конструкции [14]

Производството на железопътни влакове е сложен процес, който изисква прецизност, издръжливост и ефективност. Дизайнерите на високоскоростни влакове предпочитат алуминий, заради добрата формоустойчивост и висока специфична якост.

Предлагат все по-аеродинамична форма на високоскоростните влакове, взаимствана от формата на самолетите (Фиг.3), с минимален брой изпъкнали части. Изключително полезно е влакът да се движи по-бързо.



Фиг. 3. Високоскоростно влаково тяло от алуминиева сплав, профил огъване и заваряване [15]

Високоскоростните влакове работят като самолетите при екстремни условия - райони с тежки метеорологични условия на околната среда като: висока температурна разлика, висока влажност, силен вятърен пясък, морска солена мъгла, индустриална атмосфера и др. Така високоскоростното влаково тяло е изправено пред сложно динамично натоварване и изискванията към материалите, от които е изградено, стават все по-големи за тегло и висока надеждност на безопасност. По-малко тегло, повече скорост.

В резултат на иновациите в космическата и авиационната индустрия [16,17], железопътната индустрия увеличава широкото използване на алуминий. Най-често използваните алуминиеви сплави са от серия 5xxx, серия 6xxx, серия 7xxx и високояката алуминиева сплав 7075. За алуминиеви листове се използват алуминиеви сплави: 5052, 5083, 5086, 5454 и 6061. За екструдирани: 5083, 6061 и 7005. Алуминиеви плочи: 1100 и 7N01. Алуминиева сплав 7N01 се използва и за релсови структури на железопътния превоз. При заваряване на алуминиевите сплави (5356 или 5556), едно от най-значимите предизвикателства е осигуряването на висококачествени и точни заварки. При тънки листови заварки, изкривяването създава предизвикателства при монтирането на монтажни възли (свързване на големи структурни панели). Алуминиевите листове, екструзиите и композитните панели имат силно бъдеще в развитието на високоскоростните транспортни системи по целия свят, осигурявайки перфектен баланс между лек дизайн и изключителна здравина. Тази комбинация осигурява оптимални високоскоростни характеристики за тези влакове, като същевременно запазва структурната цялост [6].

От края на миналия век до днес стотици милиарди се инвестират в нови високоскоростни железопътни линии с голям капацитет в Европа и Азия, въведени от японския Tōkaidō Shinkansen и Train a Grand Vitesse (TGV) във Франция. Първата високоскоростна железопътна система, Tōkaidō Shinkansen, започва работа в Хоншу, Япония, през 1964 г. Благодарение на аеродинамичния носов конус на локомотива, с форма на „spitzer“, системата става известна и с английския си прякор „bullet train“. Примерът на Япония е последван от няколко европейски страни, първоначално в Италия, малко след това от Франция, Германия и Испания. Алуминиевите влакове вече могат да бъдат срещнати в много държави, разработили високоскоростна железопътна инфраструктура за свързване на големи градове, включително Австрия, Белгия, Дания, Финландия, Гърция, Индонезия, Япония, Мароко, Холандия, Норвегия, Полша, Португалия, Русия, Саудитска Арабия, Сърбия, Южна Корея, Швеция, Швейцария, Тайван, Турция, Обединеното кралство, Съединените щати и Узбекистан. Само в континентална Европа и Азия високоскоростната железница пресича международни граници. От 21-ви век насам китайската високоскоростна технология за производство и

експлоатация на железопътния транспорт е достигнала водеща роля в света. Китайската фабрика, CRH в Кингдао, играе важна роля в индустрията на високоскоростни влакове, като е отговорна за проектирането и производството на почти половината от високоскоростните влакове в страната. Конструкцията на влаковете включва безшевено заваряване на 72 плочи от алуминиева сплав. Към 2023 г. Китайската мрежа представлява над две трети от общата световна високоскоростна мрежа.

Алуминиеви иновации във високоскоростните влакове

Универсалността на алуминия позволи на производителите на влакове да отговорят на най-новите изисквания на индустрията. Много влакове са проектирани да се накланят (Фиг.4), което им позволява да се навеждат на криви, което означава, че могат да бъдат постигнати по-високи скорости. Влаковете също са проектирани да генерират електричество по време на спиране, а алуминиевата технология позволява изключително ниско тегло на осите, без да се нарушава структурната цялост или безопасност.



Фиг. 4. Високоскоростен влак [18]

Най-новата технология са влаковете, изработени от алуминиева пяна. Материал, който е по-здрав, по-лек и по-добър при катастрофа от фибростъкло или обикновен метал. Алуминиевата пяна е изобретена през 1968 г., но дългогодишният проблем (недостатък) за използването ѝ в индустриални приложения е трудността при оформянето на материала. През 2016 г. инженери в Хемиц, Германия, представят прототип на кабина за високоскоростен влак, направена от алуминиева пяна. Композитният материал е изграден като сандвич: между две парчета алуминий, всяко с дебелина само два милиметра, има дебел слой пяна с дебелина 25 милиметра, съставена от магнезий, силиций, мед и алуминий. Слоеве се държат заедно чрез метално свързване, електростатично привличане на отрицателно заредени електрони и положително заредени йони. Материалът е с 20 процента по-лек от традиционното фибростъкло, което обикновено се използва в кабините на високоскоростните влакове. Инженерите от Fraunhofer Institute и Voith Engineering демонстрират как повърхностите от алуминиева пяна, могат да бъдат оформени икономично с помощта на инструменти за щамповане [19].



Фиг. 5. Алуминиева пяна [20]

Друга иновация в леките железопътни влакове, особено високоскоростните, са двуетажните влаковете. Широкото използване на материали от алуминиева сплав е най-ефективният начин за подобряване на теглото на този тип превозни средства и основният проблем на модернизацията на железопътния транспорт.



Фиг. 6. Двуетажен високоскоростен влак „Авелия Хоризонт“ [21]

Единственият двуетажен високоскоростен влак в света е „Авелия Хоризонт“, които се движи с над 300 км/ч, предлага висока оперативна гъвкавост и гарантира най-високите нива на безопасност на пасажерите. Влакът е с ниска консумация на енергия и разходи за поддръжка [22].

ИЗВОДИ

Високоскоростните влакове са бъдещето на транспорта. Те ще заменят самолетите, тъй като пътуването с тях е по-рентабилно, по-безопасно и са по-бързи от полетите. Леките материали като алуминий, композити и суперсплави, ще играят важна роля в изграждането на най-съвременните пътнически (високоскоростни) влакове. С тях ще могат да се превозват пътници в рамките на същите ограничения за натоварване на осите, да използват по-малко енергия и да имат намалено въздействие върху железопътната инфраструктура. Намалването на енергията, ще доведе и до по-екологични технологии, намалени въглеродни отпечатъци и по-ниски разходи за поддръжка в дългосрочен план. Използването на алуминия при конструирането на високоскоростни влакове, ще доведе и до намаляване на отпадъците след края на тяхната експлоатационна годност. Алуминият е известен и със своята лекота на рециклиране. Алуминиевият скрап може да бъде напълно рециклиран, което е благоприятно за изграждането на кръгова икономика и опазване на околната среда.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Rochard, B.P., Schmid, F., Benefits of lower-mass trains for high speed rail operations. Proc. Inst. Civil Eng. Transp. 157, 51–64, 2004.
- [2] Ashby, M. F., Multi-objective optimisation in material design and selection. ACTA Materialia Millennium, 48, 359–369, 2000.
- [3] De la Guerra, Eduardo, Lightweight primary structures for High-speed railway carriages, International Congress on High-speed Rail: Technologies and Long Term Impacts - Ciudad Real (Spain), 360. Revista de alta velocidad, 5, 9-21, 2018.
- [4] Brocker, W. and Rosenberger, R. D., Light weight potentials in coach body structures of high-speed trains. WCCR, D, 713–721, 1997.
- [5] Miteva A., Classification of aluminium and aluminium alloys, Сборник доклади от годишна университетска научна конференция, В. Търново, Издателски комплекс на НВУ „Васил Левски“, 2551-2559, 2021; ISSN 2367-7481.
- [6] Sun Xiaoguang, Xiaohui Han, Chaofang Dong and Xiaogang Li, chapter Applications of Aluminum Alloys in Rail Transportation from book Advanced Aluminium Composites and Alloys, 2020, DOI: 10.5772/intechopen.96442.

- [7] Аллюминиевые сплавы: Применение аллюминиевых сплавов: Справочник. М.: Металлургия, 343, 1985.
- [8] Miteva A., On the microstructure and mechanical properties of nanocomposites, Eighth Scientific Conference with International Participation Space, Ecology, Safety, Proceedings SES 2012, 220-225, 2013, ISSN 1313 – 3888.
- [9] Miteva A., On the microstructure and strengthening of aluminium and aluminium alloys, Tribological Journal Bultrib, 3, 367-370, 2013; ISSN: 1313-9878.
- [10] Антипов В. В., Сенаторова О. Г., Ткаченко Е. А., Высокопрочные аллюминиевые сплавы, Цветные металлы, 2013 г., глава 9.
- [11] Фридляндер И. Н., Высокопрочные деформируемые аллюминиевые сплавы. — М. Оборонгиз, 291, 1960.
- [12] Брауде З.И., Ляпин А.Г., Томилин Н.В, Конструкции из аллюминиевых сплавов, М.: Стройиздат, 193, 1994.
- [13] <https://www.dreamstime.com/inside-rail-car-assembly-plant-industrial-workshop-welding-aluminum-bodys-factory-manufacturing-train-sets-rolling-image170613862>
- [14] <https://www.dreamstime.com/photos-images/aluminium-profile-train.html>
- [15] <https://hyalgroup.com/products/44-High-strength-high-speed-train-body-aluminum-alloy-profile-bending-and-welding.html>
- [16] Li, S. S., X. Yue, Q. Y. Li et al., Development and applications of aluminum alloys for aerospace industry, Journal of Materials Research and Technology, 27, 944-983, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.09.274>
- [17] Gloria, A., R. Montanari, M. Richetta, A. Varone, Alloys for aeronautic applications: State of the art and perspectives, Metals, 9(6), 662, 2019, <https://doi.org/10.3390/met9060662>
- [18] <https://www.assemblymag.com/articles/95730-high-speed-rail-demands-light-railcars>
- [19] <http://lodecjinshu.com/en/innovation-aluminium-trains/>
- [20] <https://www.wired.com/2014/12/aluminum-foam-trains/>
- [21] <https://www.alstom.com/press-releases-news/2021/11/alstoms-avelia-horizon-very-high-speed-train-wins-german-design-award>
- [22] <https://www.alstom.com/press-releases-news/2021/11/alstoms-avelia-horizon-very-high-speed-train-wins-german-design-award>

ALUMINUM AND ALUMINUM ALLOYS IN HIGH-SPEED RAIL TRANSPORT

Anna Bouzekova-Penkova

a_bouzekova@space.bas.bg

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
Sofia 1113, str. “Akd. Georgy Bonchev” bl.1,
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

Key words: *aluminum, aluminum alloys, high-speed trains, railway transport*

Abstract: *In recent decades, aluminum and aluminum alloys have become indispensable materials in the production of high-speed trains. Their lightweight, strength, durability, and corrosion resistance ensure a lighter construction of high-speed trains, increased speed, reliability, and energy efficiency. Their use leads to reduced production and maintenance costs, making them a preferred material for future high-speed train manufacturing. This report provides a brief overview of the types of aluminum alloys used in high-speed rail transport.*