

Металлургия, жаңа материалдар технологиясыDOI: <https://doi.org/10.53002/089>**HOW TO PREVENT THE SHRINKAGE OF ALUMINUM FOAM THROUGH CARBONATES****Bekbolatova N.***Yessenov university, Aktau, Kazakhstan***Corresponding author e-mail: bekbolatova.nursulu@mail.ru***Author information:****Bekbolatova Nursulu**, Yessenov university, Aktau, Kazakhstan, e-mail: bekbolatova.nursulu@mail.ru

Abstract — Metal foam is produced using titanium hydride as a foaming agent. Carbonates produce aluminum foam with a thin and homogeneous cell structure. However, foams produced using carbonates show a pronounced shrinkage, which is clearly different from the one in which titanium hydride is used. For practical use, it is very important to clarify the shrinkage of the foam and establish a method of its prevention. In this study, cell structures were observed to study the shrinkage of aluminum foam produced using carbonates. Foam cells are associated with each other with maximum expansion produced using dolomite as a foaming agent. It was believed that the foaming gas was expelled to the outside through the connected cells. Cell formation at different sites has been thought to be effective in preventing contractions caused by cell bonding. Several inclusions of dolomite and magnesium carbonate with different decomposition temperatures were used. The foam in the case with many inclusions maintained a density of 0.66 to 973 K, when the foam produced with dolomite shrank. Repeated addition of carbonates has been tested to be effective in preventing shrinkage.

Keywords — aluminum foam, carbonates, shrinkage, materials science, cell structure, dolomite, magnesium carbonate, gas formation, thermal decomposition, titanium hydride, expansion, density, microstructure, foaming mechanism, aluminum alloy, structural materials, lightweight materials, mechanical properties.

КАРБОНАТТАР АРҚЫЛЫ АЛЮМИНИЙ КӨБІКІНІҢ ШӨГУІНІҢ АЛДЫН АЛУ ӘДІСІ**Бекболатова Н.***«Ш. Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технологиялар және инжиниринг университеті» КеАҚ, Ақтау, Қазақстан***Автор-корреспондент e-mail: bekbolatova.nursulu@mail.ru***Авторлар туралы ақпарат:****Бекбулатова Нурсулу**, «Ш. Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технологиялар және инжиниринг университеті», Ақтау, Қазақстан, e-mail: bekbolatova.nursulu@mail.ru

Аңдатпа — Металл көбік көбік түзуші ретінде титан гидридті пайдалана отырып өндіріледі. Карбонаттар жұқа және біртекті жасуша құрылымы бар алюминий көбігін шығарады. Дегенмен, карбонаттар арқылы өндірілген көбіктер титан гидридті қолданылғаннан анық ерекшеленетін айқын шөгуді көрсетеді. Практикалық қолдану үшін көбіктің шөгуін нақтылау және оның алдын алу әдісін белгілеу өте маңызды. Бұл зерттеуде карбонаттар көмегімен өндірілген алюминий көбікінің шөгуін зерттеу үшін жасуша құрылымдары байқалды. Көбік жасушалары бір-бірімен максималды кеңеюмен байланысты көбіктендіргіш ретінде доломитті қолдану арқылы өндірілген. Көбік түзетін газ қосылған ұяшықтар арқылы сыртқа шығарылады деп есептелді. Өртүрлі учаскелерде жасуша түзілуі жасуша байланысынан туындаған жиырылудың алдын алуда тиімді деп есептелді. Өр түрлі ыдырау температуралары бар доломит пен магний карбонатының бірнеше қосындылары қолданылды. Көптеген қосындылар бар корпустағы көбік 0,66-дан 973 К-ге дейін тығыздықты сақтады, бұл кезде доломитпен өндірілген көбік кішірейді. Карбонаттардың бірнеше рет қосылуы шөгудің алдын алуда тиімді екендігі тексерілді.

Түйін сөздер — алюминий көбік, карбонаттар, шөгу, материалтану, ұяшық құрылымы, доломит, магний карбонаты, газ түзілу, термиялық ыдырау, титан гидридті, кеңею, тығыздық, микроқұрылым, көбіктену механизмі, алюминий қорытпасы, құрылымдық материалдар, жеңіл материалдар, механикалық қасиеттер.

СПОСОБ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОСАЖДЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОЙ ПЕНЫ КАРБОНАТАМИ

Бекболатова Н.

НАО «Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова», Актау, Казахстан

*Автор-корреспондент e-mail: bekbolatova.nursulu@mail.ru

Информация об авторах:

Бекбулатова Нурсулу, НАО «Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова», Актау, Казахстан, e-mail: bekbolatova.nursulu@mail.ru

Аннотация — Металлическая пена производится с использованием гидрида Титана в качестве пенообразователя. Карбонаты производят алюминиевую пену с тонкой и однородной клеточной структурой. Однако пены, производимые карбонатами, демонстрируют явное осаждение, которое явно отличается от использования гидрида титана. Для практического применения очень важно уточнить усадку пены и установить способ ее предотвращения. В этом исследовании наблюдались клеточные структуры для изучения осаждения алюминиевой пены, производимой с использованием карбонатов. Пенные клетки производятся с использованием доломита в качестве пенообразователя, связанного с максимальным расширением друг друга. Считалось, что газ, образующий пену, выбрасывается через подключенные ячейки. Считалось, что образование клеток на различных участках эффективно предотвращает сокращение, вызванное клеточной связью. Было использовано несколько соединений доломита и карбоната магния с разными температурами разложения. Пена в корпусе с множеством включений сохраняла плотность от 0,66 до 973 К, при этом пена, произведенная доломитом, сжималась. Было проверено, что многократное добавление карбонатов эффективно предотвращает усадку.

Ключевые слова — алюминиевая пена, карбонаты, осаждение, материаловедение, клеточная структура, доломит, карбонат магния, газообразование, термическое разложение, гидрид титана, расширение, плотность, микроструктура, механизм вспенивания, алюминиевый сплав, конструкционные материалы, легкие материалы, механические свойства.

НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР

Зерттеу барысында алюминий көбігін карбонатты көбік түзушілерді қолдану арқылы алу процесіндегі шөгу құбылысының негізгі себептері анықталды. Доломит пен магний карбонатының термиялық ыдырауы нәтижесінде түзілетін газдардың бөліну ерекшеліктері көбік құрылымының қалыптасуына және оның тұрақтылығына тікелей әсер ететіні көрсетілді. Жасушалық құрылымды микроскопиялық зерттеу арқылы шөгу құбылысының көбік жасушаларының өзара қосылып кетуімен және газдың сыртқа шығуымен байланысты екені анықталды. Сонымен қатар доломит пен магний карбонатын бірнеше кезеңмен енгізу нәтижесінде көбік құрылымының тұрақтылығы артып, материалдың шөгу дәрежесі едәуір төмендейтіні дәлелденді.

КІРІСПЕ

Металл көбіктердің төмен тығыздығы, жақсы энергияны сіңіру қабілеті және төмен жылу өткізгіштігі сияқты бірегей қасиеттері бар. Металл көбіктерді өндіру әдістерінің бірі Фраунгофер әдісі болып табылады. Бұл әдіс прекурсор жасау үшін алюминий матрицалық ұнтағы мен TiH_2 ыстық экструзиясын талап ететін

әдеттегі ұнтақ металлургиясының (РМ) әдісін пайдаланады, содан кейін алынған өнім желіге жақын пішіндеу үшін көбік алу үшін жабық штампа қыздырылады. TiH_2 алюминий қорытпаларының балку температурасына жақын ыдырау температурасына байланысты танымал көбік түзуші болып табылады. Дегенмен, TiH_2 қымбат.

Авторлардың бірі карбонаттарды TiH_2 балама ретінде ұсынды [2], себебі олар арзан. Кальций карбонаты балқыту жолында TiH_2 қарағанда жұқа жасуша құрылымын береді. Ол сонымен қатар алюминий жасушасының бетін тотықтыратын және тұрақтандыратын CO_2 газын тудырады. Осылайша, карбонаттар арқылы өндірілген алюминий көбік TiH_2 көмегімен өндірілгеннен гөрі жұқа жасуша құрылымына ие. Көбіктің тұрақтануына оксид қабатының әсері басқа зерттеушілерден хабарланған [3,4,5]. Екінші жағынан, TiH_2 арқылы көбік SiO_2 сияқты қатты бөлшектермен тұрақтанады [6].

ПМ жолында кейбір карбонаттар көбік түзетін агенттер ретінде пайдаланылады және олардың нәтижесінде алынған көбік жасушаларының жақсы құрылымын және жақсы механикалық қасиеттерін көрсетеді [7,8].

Дегенмен, РМ жолындағы карбонаттардың көбіктенуі әлі де анықталуы керек.

Біз карбонаттармен көбік түзу принципін зерттеп, доломит пен магний карбонаты $AlSiCu$ қорытпасы үшін қолайлы көбік түзетін агенттер екенін анықтадық. Доломит пен магний карбонатын қолдану арқылы өндірілген көбіктер жұқа және біртекті жасушалық құрылымға ие [9,10,11]. TiH_2 көмегімен өндірілген көбік ауырлық әсерінен үзілмес бұрын жасушалардың бірігуін көрсетеді [12,13]. Екінші жағынан, карбонаттарды қолдану арқылы өндірілген көбік TiH_2 көбікінен анық айырмашылығы бар айқын шөгуді көрсетеді. Трансмиссиялық рентгендік жүйені қолдану арқылы белгілі бір температурада алынған массасы 1,2% доломит көбікінің трансмиссиялық кескіндері [11] суретте көрсетілген. Көбік 973 К максималды кеңеюден кейін 1003 К-де айтарлықтай қысқарды. Мұндай айқын шөгу ПМ трассасындағы желіге жақын пішінге теріс әсер етеді. Тиісінше, практикалық қолдану үшін көбіктің шөгуін нақтылау және оның алдын алу әдісін белгілеу өте маңызды.

Осы зерттеуде көбік шөгу кезіндегі жасуша құрылымдары және мұндай шөгудің алдын алу әдісі зерттелді.

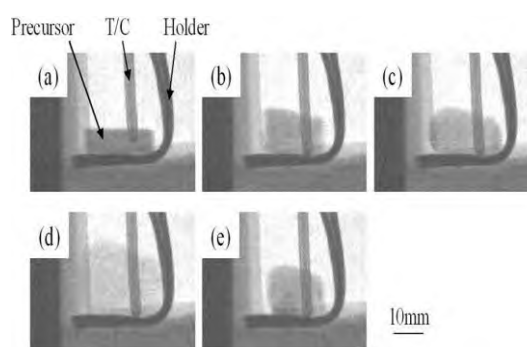
Зерттеудің олқылығы. Алюминий көбіктері авиацияда, автомобиль жасауда, құрылыс индустриясында және қорғаныс техникасында кеңінен қолданылатын перспективалы жеңіл конструкциялық материалдардың қатарына жатады. Олардың төмен тығыздығы, жоғары энергия жұту қабілеті және жақсы жылу оқшаулағыш қасиеттері өндірісте үлкен қызығушылық тудырады. Дегенмен карбонатты көбік түзушілерді пайдалану кезінде пайда болатын шөгу құбылысы көбік құрылымының біркелкілігін бұзып, механикалық қасиеттерінің төмендеуіне алып келеді. Сондықтан алюминий көбігінің шөгу механизмін анықтау және оны болдырмаудың тиімді технологиялық тәсілдерін әзірлеу материалдың сапасын арттыру мен өндірістік технологияны жетілдіру тұрғысынан өзекті ғылыми әрі практикалық мәселе болып табылады. Алынған нәтижелер титан гидридіне қарағанда арзанырақ карбонатты көбік түзушілерді өндірісте кеңінен қолдануға мүмкіндік береді.

Зерттеудің жаңалығы. Зерттеудің ғылыми жаңалығы алюминий көбігінің карбонатты көбік түзушілер арқылы алынуы кезінде байқалатын шөгу құбылысының жасушалық құрылым деңгейінде кешенді зерттелуінде. Доломит пен магний карбонатының әртүрлі ыдырау температураларының көбік құрылымына әсері бағаланып, бірнеше кезеңмен карбонат енгізу

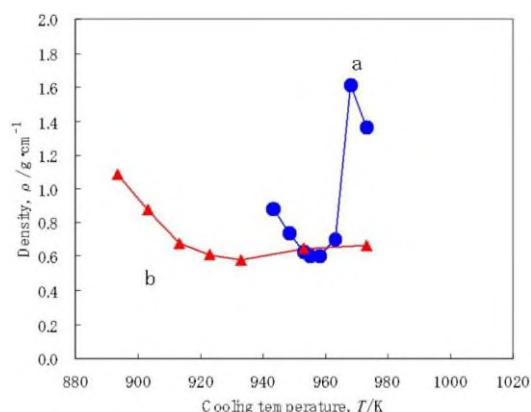
арқылы газ бөліну процесін басқаруға және көбік шөгуін төмендетуге болатындығы дәлелденді. Сонымен қатар көбік құрылымының қалыптасу механизмі мен жасушалардың байланысу ерекшеліктері түсіндіріліп, карбонатты көбік түзушілерді қолданудың технологиялық тиімділігі ғылыми тұрғыдан негізделді.

ӘДІСТЕР МЕН МАТЕРИАЛДАР

Доломит көмегімен өндірілген көбіктің жасушалық құрылымдары карбонатты көбік түзетін агенттермен туындаған көбік шөгуін нақтылау үшін байқалды. Массасы 2,0% доломитті қолдану арқылы өндірілген көбіктердің салқындату температурасы мен тығыздығы 2(a) суретте көрсетілген. Көбік 943 К-де 0,88 тығыздыққа дейін кеңейді. Содан кейін ол 958 К-де 0,60 тығыздықта максималды кеңеюді көрсетті. Осыдан кейін ол 968 К-де 1,61 тығыздықты көрсетуге дейін кішірейді. Көбіктер және олардың көлденең қимасы 39-суретте және К39-да көрсетілген. жасуша құрылымдары. 963 К-де көбік кішірейіп, оның жасушаларының саны азайды.

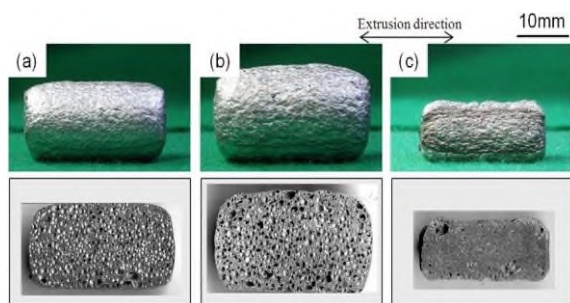


Сурет 1 – Трансмиссиялық рентгендік жүйемен бақыланатын 1,2 массалық% доломитпен өндірілген көбіктер: (a) іске қосу; (b) 863 К; (c) 873 К; (r) 973 К және (e) 1003 К

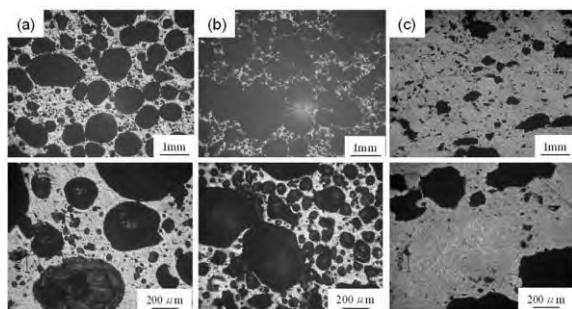


Сурет 2 – Көбіктердің тығыздығы: (a) 2,0 масса% доломит және (b) 2,0 масса% доломит және 1,0 масса% $MgCO_3$

Көбіктердің жасушалық құрылымдары оптикалық микроскопия арқылы бақыланды, оның нәтижелері 4-суретте көрсетілген. Көбіктерде 943 және 958 К температурада әртүрлі өлшемдегі екі ұяшық байқалды. Өлшемі 1 мм-ге жуық ірі жасушалар AlSiCu ұнтағының бетіне сіңген су буының әсерінен индукцияланды және майда жасушалардың мөлшері $7\text{ }\mu\text{m}$ -ге жуық болды. доломиттің ыдырауымен [11]. 943 К-де негізінен ірі жасушалар байқалды. 958 К-де майда жасушалардың саны айтарлықтай өсті. Дөрекі жасушалар бір-бірімен жұқа жасушалар арқылы байланысқан. Жасушалар ашық жасуша құрылымы ретінде пішінін сақтап қалды. Карбонаттар көбікінде тұрақты тотыққан жасуша қабырғалары бар [2,3,4,5], бұл жасушалардың бірігуіне жол бермейді. 968 К-де жасушалардың көпшілігі жоғалып кетті.



Сурет 3 – Массасы 2,0% доломит пен олардың көлденең қимасы бойынша алынған көбіктер: (а) 943 К, $\rho: 0,88\text{ г/см}^3$, (б) 958 К, $\rho: 0,60\text{ г/см}^3$ және (в) 968 К, $\rho: 1,61\text{ г/см}^3$.



Сурет 4 – Массасы 2,0% доломитпен өндірілген көбіктердің микроқұрылымдары, төменгі суреттер жоғарғы қатардағы үлкейтілген кескіндер: (а) 943 К, $\rho: 0,88\text{ г/см}^3$; (б) 958 К, $\rho: 0,60\text{ г/см}^3$ және (с) 968 К, $\rho: 1,61\text{ г/см}^3$

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Зерттеу нәтижелері алюминий көбігінің құрылымы мен тұрақтылығы көбік түзуші ретінде қолданылған карбонаттардың түріне және олардың енгізілу тәсіліне тәуелді екенін көрсетті. Доломитті жеке қолданған жағдайда көбік 958 К температурада ең жоғары ұлғаюға жеткенімен, температураның әрі қарай жоғарылауымен

жасушалардың өзара бірігуі нәтижесінде газдың сыртқа шығуы байқалып, көбік айтарлықтай шөккен. Тығыздықтың $0,60\text{ г/см}^3$ -тен $1,61\text{ г/см}^3$ -ке дейін артуы көбік көлемінің едәуір төмендегенін көрсетті.

Микроскопиялық талдау нәтижелері 943-958 К температура аралығында ірі және ұсақ жасушалардың қатар түзілетінін көрсетті. Ұсақ жасушалардың түзілуі доломиттің термиялық ыдырауы нәтижесінде бөлінетін көмірқышқыл газымен байланысты болса, ірі жасушалар алюминий ұнтағының бетінде адсорбцияланған ылғалдың булануынан пайда болған. Максималды кеңею кезінде жасушалар өзара жұқа қабырғалар арқылы байланысқанымен, температура жоғарылаған сайын олардың көпшілігі жойылып, көбік құрылымы бұзылған.

Доломит пен магний карбонатын бірге пайдалану көбік құрылымының тұрақтылығын арттырғаны байқалды. Магний карбонатының жоғары температурада ыдырауы нәтижесінде газдың кезең-кезеңімен бөлінуі жасушалардың бір мезгілде бірігіп кетуін азайтып, көбік құрылымының ұзақ уақыт сақталуына ықпал етті. Нәтижесінде көбік шөгуі төмендеп, тығыздық шамамен $0,66\text{--}0,87\text{ г/см}^3$ аралығында тұрақтанды.

Алынған нәтижелер әдебиетте сипатталған мәліметтермен сәйкес келеді және карбонатты көбік түзушілерді дұрыс таңдау арқылы TiH_2 қолданбай-ақ біркелкі жасушалы алюминий көбігін алуға болатынын көрсетеді. Карбонаттарды бірнеше рет енгізу тәсілі газ түзілу қарқындылығын тиімді реттеп, көбік құрылымының бұзылуын азайтады. Бұл тәсіл өндірістік жағдайда жеңіл, біркелкі кеуекті және жоғары механикалық қасиеттерге ие алюминий көбіктерін алуға мүмкіндік береді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл зерттеуде көбіктердің карбонатпен шөгуі және оның алдын алу әдісі талқыланды. Жасуша құрылымдарын бақылау нәтижесінде әртүрлі учаскелерде жасуша түзілуі жасуша байланыстарынан туындаған жиырылудың алдын алуда тиімді деп есептелді. Шөгудің алдын алуда 2,0 массалық% доломит пен 1,0 массалық% магний карбонатын бірнеше рет қосу тиімді екендігі тексерілді. Бірнеше рет қосылатын көбік бір доломитке қарағанда $0,87$ тығыздықтағы жасуша құрылымына ие, бірақ біртекті жасуша құрылымын төменірек тығыздықта ұстауда проблемалар бар.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ.

Авторлар осы зерттеуді орындау және мақаланы жариялау барысында мүдделер қайшылығы жоқ екенін мәлімдейді.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ.

Авторлар осы зерттеуді орындау кезінде сыртқы қаржыландырудың жоқтығын мәлімдейді.

АЛҒЫС.

Автор қолжазбаны мұқият қарастырып, мақаланың мазмұны мен сапасын едәуір жақсартуға мүмкіндік берген құнды ескертулері мен ұсынымдары үшін журналдың редакторы мен рецензентіне шынайы алғысын білдіреді.

Авторлық құқық © 2025 автор(лар)ға

тиесілі. Бұл мақала Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0) лицензиясы бойынша ашық қолжетімді болып табылады. Лицензия түпнұсқа еңбекке тиісті түрде сілтеме жасалған жағдайда, кез келген ортада пайдалануға, таратуға және қайта жариялауға рұқсат береді. Туынды материалдар осы лицензияның дәл осындай шарттарымен таратылуы тиіс.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] Baumeister, J. Key метал денелерін өндіру әдісі. DE4018360, 8 6 1990.
- [2] Nakamura, T.; Gnyloskurenko, S.V.; Sakamoto, K.; Byakova, A.V.; Ishikawa, R. A. “New Foaming Agent for Production of Metallic Foam,” *Materials Transactions*. 2002, 43(5), 1191–1196.
- [3] Gergely, V.; Curran, D.C.; Clyne, T.W. “The FOAMCARP Process: Foaming of Aluminium MMCs by the Reaction between Boron Carbide and Aluminium.” *Composites Science and Technology*. 2003, 63(16), 2301–2310.
- [4] Nisa, S.U.; Pandey, S.; Pandey, P.M. “A Review of the Compressive Properties of Closed-Cell Aluminum Metal Foams.” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*. 2023, 237(2), 531–545. <https://doi.org/10.1177/09544089221112291>
- [5] Zhang, J.; An, Y.; Ma, H. “Research Progress in the Preparation of Aluminum Foam Composite Structures.” *Metals*. 2022, 12(12), 2047. <https://doi.org/10.3390/met12122047>
- [6] Byakova, A.; Gnyloskurenko, S.; Vlasov, A.; Yevych, Y.; Semenov, N. “The Mechanical Performance of Aluminum Foam Fabricated by Melt Processing with Different Foaming Agents: A Comparative Analysis.” *Metals*. 2022, 12(8), 1384. <https://doi.org/10.3390/met12081384>
- [7] Madgule, M.; Sreenivasa, C.G.; Borgaonkar, A.V. “Aluminium Metal Foam Production Methods, Properties and Applications: A Review.” *Materials Today: Proceedings*. 2023, 77, 673–679. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.287>
- [8] Ji, C.; Huang, H.; Wang, T.; Huang, Q. “Recent Advances and Future Trends in Processing Methods and Characterization Technologies of Aluminum Foam Composite Structures: A Review.” *Journal of Manufacturing Processes*. 2023, 93, 116–152. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.03.015>
- [9] Rodinger, T.; Ćorić, D.; Alar, Ž. “The Influence of Foaming Agents on Aluminium Foam Cell Morphology.” *Metals*. 2023, 13(6), 1146. <https://doi.org/10.3390/met13061146>

REFERENCES

- [1] Baumeister, J. Key метал денелерін өндіру әдісі. DE4018360, 8 6 1990.
- [2] Nakamura, T.; Gnyloskurenko, S.V.; Sakamoto, K.; Byakova, A.V.; Ishikawa, R. A. “New Foaming Agent for Production of Metallic Foam,” *Materials Transactions*. 2002, 43(5), 1191–1196.
- [3] Gergely, V.; Curran, D.C.; Clyne, T.W. “The FOAMCARP Process: Foaming of Aluminium MMCs by the Reaction between Boron Carbide and Aluminium.” *Composites Science and Technology*. 2003, 63(16), 2301–2310.
- [4] Nisa, S.U.; Pandey, S.; Pandey, P.M. “A Review of the Compressive Properties of Closed-Cell Aluminum Metal Foams.” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*. 2023, 237(2), 531–545. <https://doi.org/10.1177/09544089221112291>
- [5] Zhang, J.; An, Y.; Ma, H. “Research Progress in the Preparation of Aluminum Foam Composite Structures.” *Metals*. 2022, 12(12), 2047. <https://doi.org/10.3390/met12122047>
- [6] Byakova, A.; Gnyloskurenko, S.; Vlasov, A.; Yevych, Y.; Semenov, N. “The Mechanical Performance of Aluminum Foam Fabricated by Melt Processing with Different Foaming Agents: A Comparative Analysis.” *Metals*. 2022, 12(8), 1384. <https://doi.org/10.3390/met12081384>
- [7] Madgule, M.; Sreenivasa, C.G.; Borgaonkar, A.V. “Aluminium Metal Foam Production Methods, Properties and Applications: A Review.” *Materials Today: Proceedings*. 2023, 77, 673–679. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.287>
- [8] Ji, C.; Huang, H.; Wang, T.; Huang, Q. “Recent Advances and Future Trends in Processing Methods and Characterization Technologies of Aluminum Foam Composite Structures: A Review.” *Journal of Manufacturing Processes*. 2023, 93, 116–152. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.03.015>
- [9] Rodinger, T.; Ćorić, D.; Alar, Ž. “The Influence of Foaming Agents on Aluminium Foam Cell Morphology.” *Metals*. 2023, 13(6), 1146. <https://doi.org/10.3390/met13061146>