

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»GTAMP 53.37.29
ЭОЖ 669.715[DOI: 10.4411/s0031-019-352](https://doi.org/10.4411/s0031-019-352)

М.Ж. Абишкенов., И.С.Тавшанов

*Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан
(E-mail: m.abishkenov@tttu.edu.kz)***Алюминий матрицалық композиттер алуда қолданылатын араластыра отырып құю әдісі мен армируші материалдарға қысқаша шолу**

Бұл жұмыста Scopus деректер базасындағы (ДБ) жарияланымдарды қолдана отырып алюминий матрицалық композиттер алуда қолданылатын араластыра құю әдісі мен армируші материалдарға қысқаша шолу жасалды. Шолу нәтижесінде АМК алуда қолданылатын басты әдістер ұнтақты металлургия (39%) және араластыра отырып құю (39,1%) екендігі және өнімділігі мен қарапайымдылығына орай екінші әдістің неғұрлым тиімді екендігі анықталды. Араластыра отырып құю әдісімен алынған АМК-лердің зерттелетін сипаттамаларының үлесін талдау нәтижесінде композиттің беріктігі, пластикалығы және қаттылығы басты назар аударылуы тиіс сипаттамалар екендігі айқындалды. Алюминий қорытпалары сериялары бөлінісінде араластыра отырып құю әдісімен алынған АМК бойынша зерттеулердің үлесін талдау нәтижесінде АМК өндіру үшін негізінен пайдалану қасиеттері жоғары 6000, 7000, 1000, 2000 сериялардың қорытпалары жиі қолданылатыны анықталды. Армируші материалдар кластары бөлінісінде араластыра отырып құю әдісімен алынған АМК бойынша зерттеулердің үлесін талдау нәтижесінде карбидтер класы ең көп таралған армируші материал болып табылатыны белгілі болды.

Түйін сөздер: алюминий матрицалық композиттер (АМК), араластыра отырып құю әдісі, армируші материалдар, Scopus деректер базасы, АМК сипаттамалары, алюминий сериялары, карбидтер, қалдықтар.

Kipicne

Алюминийлік матрицалық композиттер (АМК) өндірудің негізгі тұжырымдамасы жеңіл және оңай балқитын алюминий мен оның қорытпаларын (алюминий матрицасын) органикалық және бейорганикалық армируші материалдармен [1] күшейту немесе армиру арқылы сапасы анағұрлым жоғары алюминий материалдар алу болып табылады. Мұнда органикалық және бейорганикалық армируші материалдарды таңдау салмақ, беріктік, шығындар және пайдалану шарттары сияқты нақты қолдану талаптарына байланысты.

Алюминий матрицасының құрамына бір немесе бірнеше армируші органикалық және / немесе бейорганикалық материалдар қосылуы мүмкін. Осыған сүйене отырып, АМК шартты түрде бинарлы және гибриді болып бөлінеді [2] және олардың әрқайсысының өзіндік артықшылықтары мен қолдану салалары бар. Оларды таңдау нақты талаптар мен жұмыс жағдайларына, сондай-ақ соңғы өнімнің қажетті механикалық қасиеттеріне байланысты. Соңғы уақытта әртүрлі ауылшаруашылық және өнеркәсіптік қалдықтарды армируші материал ретінде пайдалана отырып, бинарлы және гибриді АМК алу технологияларын әзірлеу және зерттеу бойынша ғылыми-өндірістік қызығушылық артып келеді [3, 4].

АМК-дағы армируші материалдар екі негізгі пішінде ұсынылуы мүмкін: бөлшектер түрінде және талшықтар түрінде. Бұл формалардың әрқайсысының артықшылықтары мен кемшіліктері, сондай-ақ [5] шолуда егжей-тегжейлі сипатталған нақты қолдану салалары бар.

Қазіргі таңда АМК өндірісі үш негізгі категорияға жіктеуге болатын әртүрлі технологиялық әдістерді қамтиды: қатты, жартылай қатты және сұйық әдістер [6]. Әдістердің әрқайсысының күшті және әлсіз жақтары бар. Қатты әдістер армирудің жоғары біркелкілігін қамтамасыз етеді, жартылай

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

қатты әдістер өңдеу икемділігімен ерекшеленеді, ал сұйық әдістер күрделі пішінді бөлшектерді алуға мүмкіндік береді, сондай-ақ технологиялық тұрғыдан қарапайым және өзіндік құны бойынша ең үнемді әдістер болып табылады. Осы әдістердің үздіксіз дамуы мен жетілдірілуінің арқасында қазіргі уақытта АМК металл матрицалық композиттердің әлемдік нарығының ең үлкен сегментіне айналды және беріктіктің, қаттылықтың және салмақтың оңтайлы балансын, коррозияға төзімділіктің жақсаруы, трибологиялық, термиялық және басқа сипаттамалар сияқты бірқатар инженерлік маңызды қасиеттердің арқасында АМК инженерлік қолдану үшін перспективалы құрылымдық материалға айналды [7-9].

Бұл жұмыстың мақсаты Scopus деректер базасындағы (ДБ) жарияланымдарды қолдана отырып АМК алуда қолданылатын араластыра құю әдісі мен армирлеуші материалдарға жүйелі қысқаша шолу болып табылады.

Шолу әдістемесі

Жұмыс мақсатын орындау үшін Scopus ДБ-да бастапқы ақпаратты егжей-тегжейлі жинау, өңдеу және талдау жүргізілді және деректер осы күнтізбелік жылы өзектендірілді және есепке енгізілді. Бастапқы ақпаратты жинау (жарияланымдардың барлық түрлері, барлық тілдерде) Scopus ДБ-да барлық жылдар бойы жарияланған мақалалардың атаулары, андатпалары мен кілт сөздері шегінде көп деңгейлі іздеу сұрауы (AND операторы) қағидаты бойынша орындалды, әрі қарай деректерді өңдеу және талдау жүргізілді. Кезеңдер мен іздеу сұраулары төменде берілген.

1-кезең. АМК алудың басты әдісін анықтау. Scopus ДБ-да екі деңгейлі іздеу сұрауы: «Aluminium matrix composite» («Алюминий матрицалық композит») AND «ағылшын тілінде АМК дайындау тәсілінің атауы» («Powder metallurgy» – «Ұнтақты металлургия»; «Stir casting» – «Араластыра отырып құю»; «Isostatic pressing» – «Изостатикалық престеу»; «Squeeze casting» – «Қысыммен құю»; «Spray deposition» – «Бұрқу арқылы тұндыру»; «Electroplating» – «Гальванизация»; «Vapour deposition» – «Бу фазасынан физикалық тұндыру»).

2-кезең. Араластыра құю әдісімен алынған АМК-лердің негізгі сипаттамаларын анықтау. Scopus ДБ-да үш деңгейлі іздеу сұрауы: «Aluminium matrix composite» («Алюминий матрицалық композит») AND «Stir casting» («Араластыра отырып құю») AND «ағылшын тіліндегі сипаттамалар» («Strength» - «Беріктігі»; «Corrosion» – «Антикоррозиялық қасиеттері»; «Thermal» – «Термиялық қасиеттері»; «Machinability» – «Механикалық әдістермен өңделгіштік шамасы»; «Cost» - «Үнемділік немесе құны»; «Lightweight» – «Композит салмағының жеңілдігі»; «Ductility» – «Пластикалығы»; «Wear» – «Тозуға төзімділігі»; «Hardness» – «Қаттылығы»).

3-кезең. Қолданалытын негізгі алюминий матрицаларын анықтау. Scopus ДБ-да үш деңгейлі іздеу сұрауы: «Aluminium matrix composite» («Алюминий матрицалық композит») AND «Stir casting» («Араластыра отырып құю») AND «металл инженериясындағы ең көп таралған алюминий мен оның қорытпалары» (1000-серия қорытпалары: «Pure aluminium» – «Таза алюминий», «1050», «1100», «1350»; 2000-серия қорытпалары: «2014», «2024», «2618»; 3000-серия қорытпалары: «3003»; 4000-серия қорытпалары: «4032»; 5000-серия қорытпалары: «5083», «5052»; 6000-серия қорытпалары: «6061», «6063», «6082»; 7000-серия қорытпалары: «7075», «7050», «7068»; 8000-серия қорытпалары: «8011», «8090», «8030»; Cast Al немесе құю қорытпалары: «356», «413»).

4-кезең. Алюминий матрицасы мен армирлеуші материалдардың негізгі комбинацияларын анықтау. Scopus ДБ-да үш деңгейлі іздеу сұрауы: «Aluminium matrix composite» («Алюминий матрицалық композит») AND «Stir casting» («Араластыра отырып құю») AND «ағылшын тіліндегі армирлеуші материалдардың ең көп таралған кластары» («Oxides» – «Оксидтер»; «Nitrides» – «Нитридтер», «Carbides» – «Карбидтер»; «Borides» – «Боридтер»; «Wastes» – «Қалдықтар»).

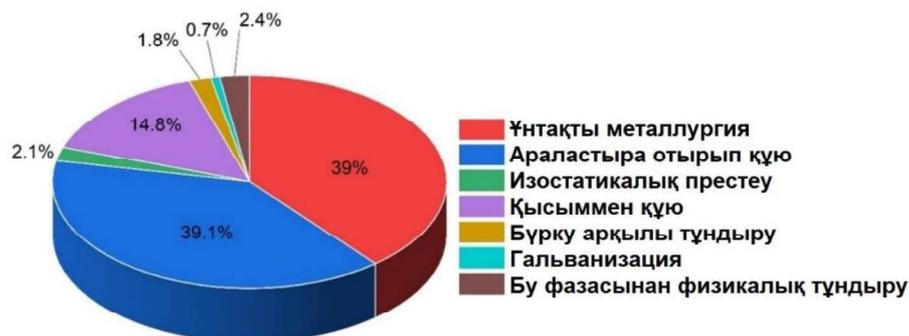
5-кезең. Армирлеудің негізгі салмақтық пайыздық құрамдарын (wt%) анықтау.

Нәтижелер және талқылау

1-кезең бойынша алынған мәліметтер талданды және диаграмма түрінде ұсынылды (сурет 1). Диаграмма бойынша АМК алудың негізгі әдістері ұнтақты металлургия және араластыра құю әдістері болып табылатынын, ал қалған әдістердің үлесі арнайыландырылған жабдықты талап ету және технологиялық күрделілік себептері бойынша жиынтықта шамамен 20% ғана құрайтынын байқауға

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

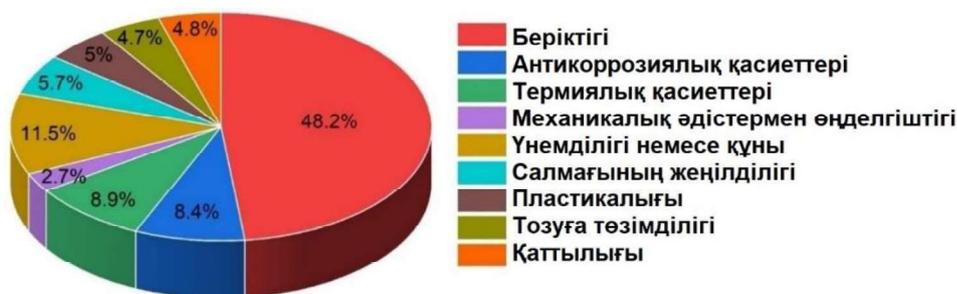
болады.



Сурет 1. Алу немесе дайындау әдістері бөлінісінде АМК бойынша зерттеулердің үлесі (Scopus ДБ, 2024 жыл)

Унтақты металлургия әдістері кең таралған, өйткені мұнда армирулеуші материал мен алюминий арасында интерфейстің өзара әрекеттесуі болмайды [5]. Дегенмен, араластыра отырып құю әдетте арзанырақ, өйткені ол ұзақ престоу және біріктіре пісіру қадамдарын қамтитын ұнтақты металлургия процестерімен салыстырғанда өндіріс уақытын айтарлықтай қысқартады. Сонымен қатар, құю габаритті дайындамалар мен бөлшектерді айтарлықтай қиындықсыз жасауға мүмкіндік береді, ал ұнтақты металлургияда престоу және біріктіре пісіру кезінде өлшем шектеулеріне байланысты үлкен және күрделі бөлшектерді жасау анағұрлым қиын. Бұдан бөлек, араластыра отырып құю әдісі қазіргі таңда үздіксіз жетілдіріліп келе жатқан әдістердің бірі және композиттердің қасиеттерін жақсарту үшін ультрадыбыстық, вакуумдық, қысыммен құю секілді басқа әдістермен оңай біріктіріледі [1].

2-кезең бойынша алынған мәліметтер талданды және диаграмма түрінде ұсынылды (сурет 2). Диаграмма алынған соңғы АМК-ның негізгі зерттелетін сипаттамасы беріктік екенін көрсетеді. Бұл армирулеу арқылы бастапқы алюминийдің механикалық беріктігін арттыру АМК-ны әзірлеудегі негізгі мәселе болуымен түсіндіріледі.



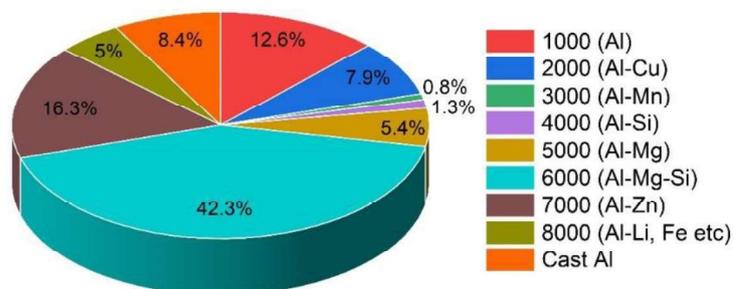
Сурет 2. Араластыра отырып құю әдісімен алынған АМК-лердің зерттелетін сипаттамаларының үлесі (Scopus ДБ, 2024 жыл)

Диаграммада пластикалықтың рөлі төмен болғанымен (5%), бұл қате, өйткені диаграмма сұруларға ғана негізделген және көптеген зерттеулерде пластикалық әрқашан дерлік беріктікпен бірге және бір сынақ жабдығында анықталады. АМК үшін пластикалықтың маңызы беріктіктен кем емес, өйткені композиттерді қолданудың көптеген салалары жоғары беріктікті ғана емес, сонымен қатар деформациялану қабілетін де қажет етеді. Беріктік пен пластикалық жиі қайшы келетінін, дәлірек айтқанда, беріктіктің жоғарылауы икемділіктің төмендеуіне әкелу мүмкіндігінің аса жоғары екендігін ескеру маңызды. Сондықтан, АМК-ны жобалау кезінде қолдану мақсатына байланысты аталған қасиеттердің оңтайлы балансын қамтамасыз ету қажет. Сонымен қатар, АМК-ның негізгі сипаттамаларының бірі қаттылық болып табылады, өйткені ол композиттің тозуға төзімділігі, беріктігі және қолдану ұзақтығы сияқты пайдалану қасиеттеріне тікелей әсер етеді. Аталған үш сипаттама материалдың негізгі механикалық қасиеттері болып табылады және диаграммаға сәйкес

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

жарияланымдардың жартысынан көбі осы қасиеттерді зерттеуге арналған. Әсіресе әртүрлі салалардағы нақты қолданыстар үшін басқа сипаттамалар да маңызды, бірақ АМК әзірлеудегі ең бастысы оның беріктігін, пластикалығын мен қаттылығын зерттеу міндетті болып табылады.

3-кезең бойынша алынған мәліметтер талданды және диаграмма түрінде ұсынылды (сурет 3). Диаграмма АМК өндіру үшін 6000, 7000, 1000, 2000 сериялардың қорытпалары, сондай-ақ құю қорытпалары жиі қолданылатынын көрсетеді.



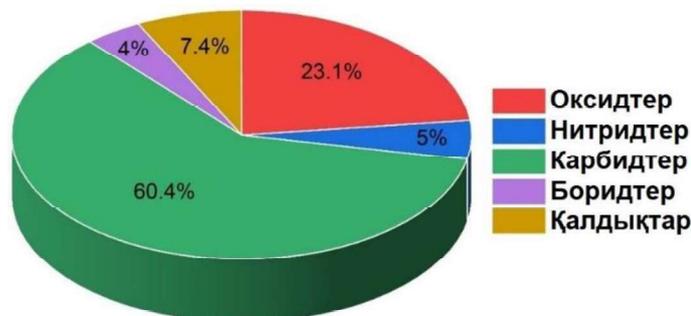
Сурет 3. Алюминий қорытпалары сериялары бөлінісінде араластыра отырып құю әдісімен алынған АМК бойынша зерттеулердің үлесі (Scopus ДБ, 2024 жыл)

6000-серия қорытпалары, мысалы, 6061 қорытпасы, беріктіктің, коррозияға төзімділіктің және технологиялығының жақсы үйлесімі арқасында АМК жасау үшін ең көп таралған матрицалық қорытпалар болып табылады [10]. Бұл қорытпалар оңай өңделеді және дәнекерленеді, бұл оларды автомобиль және аэроғарыш өнеркәсібінде қолдануға тартымды етеді. 7000-серия қорытпалары, мысалы, 7075 қорытпасы, жоғары беріктігімен және қаттылығымен ерекшеленеді, сондықтан аэроғарыш өнеркәсібі сияқты жүктемеге төзімділік маңызды сала үшін кеңінен қолданылады [7]. Алайда, 6000-серия қорытпаларымен салыстырғанда, бұл қорытпалардың коррозияға бейімділігі жоғары. 2000-серия қорытпалары, мысалы, 2014 қорытпасы, жоғары беріктігі қажет композиттер жасау үшін жиі қолданылады [11]. Дегенмен, олардың коррозияға төзімділігі басқа серияларға қарағанда төмен, сондықтан олар көбінесе қорғаныс жабынымен бірге қолданылады. 356 қорытпасы сияқты құю қорытпаларын пайдалану жоғары құю қасиеттеріне (төмен шөгу және жақсы сұйық аққыштық), әртүрлі армирлеуші бөлшектермен жақсы химиялық үйлесімділігіне, салыстырмалы түрде төмен құны мен қолжетімділігіне байланысты [12]. АМК жасау үшін құю қорытпаларын армирлеуші бөлшектермен күшейтуге болатынына қарамастан, қорытпаның бастапқы негізгі қасиеттері, әсіресе бастапқы беріктігі мен қаттылығы, басқа алюминий қорытпаларымен салыстырғанда төмен болуы мұндай қорытпаларды қолдануды шектейтін фактор болып табылады. Таза алюминий (1000-серия) жоғары коррозияға төзімділікке және жақсы жылу өткізгіштікке ие, бірақ беріктігі жағынан басқа сериялардан едәуір төмен, жұмсақ және тіпті кішігірім механикалық жүктемелерді қолданған кезде пластикалық деформацияларға бейім, бірақ пластикалығы мен қол жетімділігі жоғары, өйткені құрамында көбінесе қымбат легірлеуші элементтер жоқ [13]. Пластикалығының жоғары деңгейі АМК-ның одан әрі пластикалық деформациялануын жеңілдетеді және мұндай АМК-лерді деформацияның көп өтуі бар режимдерінде, мысалы, көпөтулі илемдеу үшін қолдануға қолайлы алғышарттар жасайды. Сонымен қатар, таза алюминийдің тығыздығы төмен, бұл оны жеңіл материалдар алу үшін қолдануға аса қолайлы. Таза алюминий негізінде жасалған АМК берік және жеңіл болады, ал бұл өз кезегінде авиация, автомобиль және ғарыш салалары үшін маңызды. Егер армирлеуші материал таза Al беріктігін арттыра алса, онда беріктік пен пластикалықтың жақсы балансымен ерекшеленетін үнемді АМК алуға болады, бұл тек АМК ғана емес, сонымен қатар кез-келген басқа металл материалдың өнімділігін бағалаудың негізгі критерийі болып табылады.

4-кезең бойынша алынған мәліметтер талданды және диаграмма түрінде ұсынылды (сурет 3). Диаграммдан карбидтер класы араластыра отырып құю әдісімен АМК алу үшін ең көп таралған армирлеуші материал болып табылатынын көруге болады. Бұл карбидтердің көпшілігі, мысалы, кремний карбиді SiC [14], бор карбиді B₄C [15], вольфрам карбиді WC [16] және титан карбиді TiC [17], ең қатты материалдардың бірі болып табылатындығына және қаттылығы бойынша көптеген басқа минералдар мен материалдардан айтарлықтай жоғары болатындығы байланысты. Сонымен қатар, SiC

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

және V_4C секілді карбидтердің тығыздығы төмен, ал бұл аэроғарыш және автомобиль жасау сияқты салаларда маңызды фактор болып табылатын жеңіл әрі берік композиттерді жасауға қолайлы мүмкіндік тудырады. Мұнымен қоса, көп жағдайда карбидтерді оксидтер мен нитридтер сияқты кейбір басқа материалдармен салыстырғанда алюминий матрицасына енгізу оңайырақ, ал бұл композиттерді өндіру технологиясын жеңілдетеді.



Сурет 4. Армируші материалдар кластары бөлінісінде араластыра отырып құю әдісімен алынған АМК бойынша зерттеулердің үлесі (Scopus ДБ, 2024 жыл)

Карбидтердің салыстырмалы түрде жоғары құнына қарамастан, олардың артықшылықтары оларды оксидтермен, нитридтермен және боридтермен салыстырғанда бәсекеге қабілетті етеді. Диаграмма сонымен қатар ауылшаруашылық және өнеркәсіптік қалдықтармен нығайтылған АМК зерттеулерінің үлесі нитридтер мен боридтердің ұқсас үлесінен асып түсетінін көрсетеді, бұл мұндай зерттеулерге қызығушылықтың артқанын көрсетеді. Өнеркәсіптік қалдықтарды армиру үшін пайдаланудың бірқатар артықшылықтары бар, олар материалдар мен технологиялардың экологиялық және экономикалық тиімділігін айтарлықтай арттыра алады. Дәстүрлі армируші материалдардың орнына қалдықтарды пайдалану шикізат шығындарын едәуір төмендетуі мүмкін, қалдықтарды басқару шығындарын азайтуға көмектеседі, қоршаған ортаның ластануын азайтады. Ұшпа күл немесе қызыл шлам сияқты өнеркәсіптік қалдықтарды алюминий композиттерін өндіру процесіне оңай енгізуге болады, бұл күрделі қайта өңдеу қадамдарын қажет етпейді, өйткені олар көбінесе дәстүрлі армируші материалдармен салыстырғанда үлкен көлемде және төмен бағамен қол жетімді. Қалдықтарды, әсіресе өнеркәсіптік қалдықтарды қайта пайдалану мәселесі Қазақстан үшін өзекті. Елде жыл сайын тау-кен, металлургия, химия және энергетика салаларын қоса алғанда, экономиканың әртүрлі салаларымен байланысты миллиондаған тонна өндірістік қалдықтар шығарылады. Жағдай ел үшін салыстырмалы түрде жаңа өндірістердің дамуымен, мысалы, қазіргі уақытта дамудың белсенді кезеңіндегі кремний өндірісінің дамуымен күрделене түседі. Қазақстандағы кремний өндірісінің қалдықтарын қайта өңдеу жағдайы, жалпы өнеркәсіптік қалдықтарды қайта өңдеу сияқты, жеткілікті дамымаған күйінде қалып отыр. Бұл ретте Қазақстан бірқатар қиындықтарға, атап айтқанда қалдықтарды бөлек жинау және сұрыптау үшін инфрақұрылымның жетіспеушілігіне тап болуда. Сондықтан өнеркәсіптік қалдықтарды армиру үшін осындай қалдықтарды қайта өңдеу мәселесін шешудің балама жолы ретінде пайдалану өзекті мәселе болып табылады.

5-кезең бойынша алдыңғы кезеңдердегідей алгоритмде талдау қиын. Себебі, wt%-ға әр түрлі факторлар әсер етеді, мысалы, арматуралық бөлшектердің немесе талшықтардың өлшемдік диапазоны [5], арматураның бинарлығы немесе гибриділігі, армируші материалдардың белгілі бір өкілдері бойынша толық қамтудың қиындығы. Алайда, Scopus ДБ-да қол жетімді жарияланымдарды талдау арқылы армируші бөлшектердің үлесі әдетте 5-тен 30 wt%-ға дейін болатындығы анықталды.

Әдебиеттер тізімі

1 Ramanathan A., Krishnan P.K. A review on the production of metal matrix composites through stir casting – Furnace design, properties, challenges, and research opportunities // Journal of Manufacturing Processes. – 2019. – Vol. 42. – P. 213-245.

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

- 2 Ujah C.O., Kallon D.V.V. Trends in aluminium matrix composite development // *Crystals*. – 2022. – Vol. 12. – P. 1357.
- 3 Okokpuije I.P., Tartibu L.K. Aluminum Alloy Reinforced with Agro-Waste, and Eggshell as Viable Material for Wind Turbine Blade to Annex Potential Wind Energy: A Review // *Journal of Composites Science*. – 2023. – Vol. 7. – P. 161.
- 4 Akbar H.I., Surojo E., Ariawan D. Investigation of Industrial and Agro Wastes for Aluminum Matrix Composite Reinforcement // *Procedia Structural Integrity*. – 2020. – Vol. 27. – P. 30-37.
- 5 Kar A., Sharma A., Kumar S. A critical review on recent advancements in aluminium-based metal matrix composites // *Crystals*. – 2024. – Vol. 14. – P. 412.
- 6 Grilo J., Carneiro V.H., Teixeira J.C., Puga H. Manufacturing methodology on casting-based aluminium matrix composites: systematic review // *Metals*. – 2021. – Vol. 11. – P. 436.
- 7 Khalid M.Y., Umer R., Khan K.A. Review of recent trends and developments in aluminium 7075 alloy and its metal matrix composites (MMCs) for aircraft applications // *Results in Engineering*. – 2023. – Vol. 20. – P. 101372.
- 8 Singh M., Garg H.K., Maharana S., Muniappan A., Loganathan M.K., Nguyen T.V.T., Vijayan V. Design and analysis of an automobile disc brake rotor by using hybrid aluminium metal matrix composite for high reliability // *Journal of Composites Science*. – 2023. – Vol. 7. – P. 244.
- 9 Amirtharaj J., Mariappan M. Exploring the potential uses of Aluminium Metal Matrix Composites (AMMCs) as alternatives to steel bar in Reinforced Concrete (RC) structures – A state of art review // *Journal of Building Engineering*. – 2023. – Vol. 80. – P. 108085.
- 10 Kareem A., Qudeiri J.A., Abdudeen A., Ahammed T., Ziout A. A Review on AA 6061 Metal Matrix Composites Produced by Stir Casting // *Materials*. – 2021. – Vol. 14. – P. 175.
- 11 Babu R.R., Rajendran C., Saiyathibrahim A., Velu R. Influence of B₄C and ZrB₂ reinforcements on microstructural, mechanical and wear behaviour of AA 2014 aluminium matrix hybrid composites // *Defence Technology*. – 2024. – Vol. 40. – P. 242-254.
- 12 Dhaneswara D., Syahrial A.Z., Ayman M.T. Mechanical Properties of Nano SiC-Reinforced Aluminum A356 with Sr Modifier Fabricated by Stir Casting Method // *Procedia Engineering*. – 2017. – Vol. 216. – P. 43-50.
- 13 Megson T.H.G. Introduction. In *Structural and Stress Analysis*, 3rd ed. Megson, T.H.G, Ed. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014, – P. 15–16.
- 14 Bhatti T.M., Wang Y., Baig M.M.A.B., Jamal S., Shehzadi F., Farooq A. Interfacial behavior of Al/SiC composites and response against quasi-static loading, dynamic loading, fatigue, and ballistic impact // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2024. – Vol. 1005. – P. 176097.
- 15 Boobalan V., Sathish T. A comprehensive study on boron carbide reinforcement in aluminum-and its alloy composites // *Materials Today: Proceedings*. – 2022. – Vol. 69. – P. 1238-1241.
- 16 Huang G., Hou W., Shen Y. Evaluation of the microstructure and mechanical properties of WC particle reinforced aluminum matrix composites fabricated by friction stir processing // *Materials Characterization*. – 2018. – Vol. 138. – P. 26-37.
- 17 Cabeza M., Feijoo I., Merino P., Pena G., Pérez M.C., Cruz S., Rey P. Effect of high energy ball milling on the morphology, microstructure and properties of nano-sized TiC particle-reinforced 6005A aluminium alloy matrix composite // *Powder Technology*. – 2017. – Vol. 321. – P. 31-43.

М.Ж. Абишкенов, И.С.Тавшанов

Краткий обзор метода литья с перемешиванием и армирующими материалами, используемых при получении алюминиевых матричных композитов

В данной работе представлен краткий обзор метода литья с перемешиванием и армирующими материалами, используемых при получении алюминиевых матричных композитов с использованием публикаций в базе данных (БД) Scopus. В результате обзора было установлено, что основными методами получения АМК являются порошковая металлургия (39%) и литье с перемешиванием (39,1%) и, благодаря своей производительности и простоте, второй метод более эффективен. В результате анализа доли исследуемых характеристик АМК, полученных методом литья с перемешиванием, установлено, что прочность, пластичность и твердость композита являются

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

характеристиками, на которые следует обратить особое внимание. Анализ доли исследований по АМК, полученных методом литья с перемешиванием в разрезе серий алюминиевых сплавов, показал, что для производства АМК чаще всего используются сплавы серий 6000, 7000, 1000, 2000, имеющие в основном высокие эксплуатационные свойства. В результате анализа доли исследований по АМК, полученных методом литья с перемешиванием в разрезе классов армирующих материалов, выяснилось, что наиболее распространенным армирующим материалом является класс карбидов.

Ключевые слова: алюминиевые матричные композиты (АМК), метод литья с перемешиванием, армирующие материалы, база данных Scopus, характеристики АМК, серии алюминия, карбиды, отходы.

M.Zh. Abishkenov., I.S.Tavshanov

A brief review of the stir casting method and reinforcing materials used in the preparation of aluminium matrix composites

This paper presents a brief review of the stir casting method and reinforcing materials used in the production of aluminium matrix composites using publications in the Scopus database (DB). The review found that the main methods used to produce AMCs are powder metallurgy (39%) and stir casting (39.1%) and due to its performance and simplicity, the second method is more efficient. By analysing the proportion of investigated characteristics of AMC obtained by stir casting method, it is found that strength, ductility and hardness of the composite are the characteristics that should be paid special attention to. The analysis of the share of studies on AMC produced by the method of casting with stir casting in the section of series of aluminium alloys showed that for the production of AMC most often used alloys series 6000, 7000, 1000, 2000, which have mainly high performance properties. As a result of the analysis of the share of studies on AMC produced by casting with stir casting in the section of classes of reinforcing materials, it was found that the most common reinforcing material is the class of carbides.

Key words: aluminium matrix composites (AMCs), stir casting method, reinforcing materials, Scopus database, AMC characteristics, aluminium series, carbides, waste.

References

- 1 Ramanathan A., Krishnan P.K. A review on the production of metal matrix composites through stir casting – Furnace design, properties, challenges, and research opportunities // Journal of Manufacturing Processes. – 2019. – Vol. 42. – P. 213-245.
- 2 Ujah C.O., Kallon D.V.V. Trends in aluminium matrix composite development // Crystals. – 2022. – Vol. 12. – P. 1357.
- 3 Okokpujie I.P., Tartibu L.K. Aluminum Alloy Reinforced with Agro-Waste, and Eggshell as Viable Material for Wind Turbine Blade to Annex Potential Wind Energy: A Review // Journal of Composites Science. – 2023. – Vol. 7. – P. 161.
- 4 Akbar H.I., Surojo E., Ariawan D. Investigation of Industrial and Agro Wastes for Aluminum Matrix Composite Reinforcement // Procedia Structural Integrity. – 2020. – Vol. 27. – P. 30-37.
- 5 Kar A., Sharma A., Kumar S. A critical review on recent advancements in aluminium-based metal matrix composites // Crystals. – 2024. – Vol. 14. – P. 412.
- 6 Grilo J., Carneiro V.H., Teixeira J.C., Puga H. Manufacturing methodology on casting-based aluminium matrix composites: systematic review // Metals. – 2021. – Vol. 11. – P. 436.
- 7 Khalid M.Y., Umer R., Khan K.A. Review of recent trends and developments in aluminium 7075 alloy and its metal matrix composites (MMCs) for aircraft applications // Results in Engineering. – 2023. – Vol. 20. – P. 101372.
- 8 Singh M., Garg H.K., Maharana S., Muniappan A., Loganathan M.K., Nguyen T.V.T., Vijayan V. Design and analysis of an automobile disc brake rotor by using hybrid aluminium metal matrix composite for high reliability // Journal of Composites Science. – 2023. – Vol. 7. – P. 244.

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

9 Amirtharaj J., Mariappan M. Exploring the potential uses of Aluminium Metal Matrix Composites (AMMCs) as alternatives to steel bar in Reinforced Concrete (RC) structures – A state of art review // *Journal of Building Engineering*. – 2023. – Vol. 80. – P. 108085.

10 Kareem A., Qudeiri J.A., Abdudeen A., Ahammed T., Ziout A. A Review on AA 6061 Metal Matrix Composites Produced by Stir Casting // *Materials*. – 2021. – Vol. 14. – P. 175.

11 Babu R.R., Rajendran C., Saiyathibrahim A., Velu R. Influence of B₄C and ZrB₂ reinforcements on microstructural, mechanical and wear behaviour of AA 2014 aluminium matrix hybrid composites // *Defence Technology*. – 2024. – Vol. 40. – P. 242-254.

12 Dhaneswara D., Syahrial A.Z., Ayman M.T. Mechanical Properties of Nano SiC-Reinforced Aluminum A356 with Sr Modifier Fabricated by Stir Casting Method // *Procedia Engineering*. – 2017. – Vol. 216. – P. 43-50.

13 Megson T.H.G. Introduction. In *Structural and Stress Analysis*, 3rd ed. Megson, T.H.G, Ed. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014, – P. 15–16.

14 Bhatti T.M., Wang Y., Baig M.M.A.B., Jamal S., Shehzadi F., Farooq A. Interfacial behavior of Al/SiC composites and response against quasi-static loading, dynamic loading, fatigue, and ballistic impact // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2024. – Vol. 1005. – P. 176097.

15 Boobalan V., Sathish T. A comprehensive study on boron carbide reinforcement in aluminum-and its alloy composites // *Materials Today: Proceedings*. – 2022. – Vol. 69. – P. 1238-1241.

16 Huang G., Hou W., Shen Y. Evaluation of the microstructure and mechanical properties of WC particle reinforced aluminum matrix composites fabricated by friction stir processing // *Materials Characterization*. – 2018. – Vol. 138. – P. 26-37.

17 Cabeza M., Feijoo I., Merino P., Pena G., Pérez M.C., Cruz S., Rey P. Effect of high energy ball milling on the morphology, microstructure and properties of nano-sized TiC particle-reinforced 6005A aluminium alloy matrix composite // *Powder Technology*. – 2017. – Vol. 321. – P. 31-43.