

ISSN (Print) 2616-6836
ISSN (Online) 2663-1296

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of L.N. Gumilyov
Eurasian National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

PHYSICS. ASTRONOMY Series

Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

2 (147)/ 2024

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Астана, 2024

Astana, 2024

Бас редакторы:
Жумадилов К.Ш.,
PhD, проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан

Бас редактордың орынбасары: Абуова Ф.У., PhD, доц., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан

Редакция алқасы:

Ержанов Қ.Қ.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Кайнарбай А.Ж.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Козловский А.Л.	PhD, Ядролық физика институты, Астана, Қазақстан
Морзабаев А.К.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Салиходжа Ж.М.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Усеинов А.Б.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Джансейтов Д.М.	PhD, Ядролық физика институты, Астана, Қазақстан
Шункеев К.Ш.	ф.-м.ғ.д., Қ.Жұбанов ат. АӨУ, Ақтөбе, Қазақстан
Исадықов А.Н.	PhD, Біріккен ядролық зерттеулер институты, Дубна, Ресей
Шарафуллин И.Ф.	ф.-м.ғ.д., Башқұрт мемлекеттік университеті, Уфа, Ресей
Сакута С.Б.	ф.-м.ғ.д., Ұлттық зерттеу институты Курчатова институты, Мәскеу, Ресей
Лущик А.Ч.	ф.-м.ғ.д., Тарту университеті, Тарту, Эстония
Попов А.И.	ф.-м.ғ.д., Латвия университеті, Рига, Латвия
Хоши М.	PhD, Хиросима Университеті, Хиросима, Жапония
Тойода Ш.	PhD, Окаяма Ғылым Университеті, Окаяма, Жапония
Ертурк С.	PhD, Нийде Университеті, Нийде, Түркия
Килин Д.	PhD, Солтүстік Дакота мемлекеттік университеті, Фарго, АҚШ
Юлун Хан	PhD, Солтүстік Дакота мемлекеттік университеті, Фарго, АҚШ

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Сәтбаев к-сі, 2

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 402 б.

Тел.: +7 (7172) 709-500, (ішкі 31-410).

E-mail: vest_phys@enu.kz

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы
Меншіктенуші: КеАҚ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті"

Мерзімділігі: жылына 4 рет

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігімен тіркелген

02.02.2021ж. № KZ66VPY00031918 қайта есепке қою туралы куәлігі

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Қажымұқан к-сі 13/1

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Тел: +7 (7172)709-500 (ішкі 31-410). Сайт: <http://bulphysast.enu.kz>

Editor-in-Chief:

K. Zhumadilov,

PhD, Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Deputy Editor-in-Chief: F. Abuova, PhD, Ass. Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Editorial board:

K. Yerzhanov	PhD, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
A. Qainarbai	Candidate of Phys.-Math. Sciences, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
A. Kozlovskiy	PhD, Institute of Nuclear Physics», Astana, Kazakhstan
A. Morzabaev	Candidate of Phys.-Math. Sciences, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Zh. Salikhodzha	Candidate of Phys.-Math. Sciences, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
A. Useinov	PhD, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
D. Dzhanseytov	PhD, Institute of Nuclear Physics, Astana, Kazakhstan
K. Shunkeyev	Doctor of Phys.-Math. Sciences, K. ZHubanov University, Aktobe, Kazakhstan
A. Isadykov	PhD, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia
I. Sharafullin	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Bashkir State University, Ufa, Russia
S. Sakuta	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Kurchatov Institute, Moscow, Russia
A. Lushchik	Doctor of Phys.-Math. Sciences, University of Tartu, Tartu, Estonia
A. Popov	Doctor of Phys.-Math. Sciences., University of Latvia, Riga, Latvia
M. Hoshi	PhD, Hiroshima University, Hiroshima, Japan
Sh. Toyoda	PhD, Okayama University of Science, Okayama, Japan
S. Yerturk	PhD, Niğde Ömer Halisdemir University, Niğde, Turkiye
Dmitri Kilin	PhD, North Dakota State University, Fargo, USA
Yulun Han	PhD, North Dakota State University, Fargo, USA

Editorial address: **2, Satpayev str., of. 402**

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 010008

Tel.: **+7 (7172) 709-500, (ext. 31-410),**

E-mail: **vest_phys@enu.kz**

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. PHYSICS. ASTRONOMY Series

Owner: Non-profit joint-stock company «L.N. Gumilyov Eurasian National University»

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan

Rediscount certificate № KZ66VPY00031918 from 02.02.2021

Address of Printing Office: 13/1 Kazhimukan str., Astana, Kazakhstan 010008

L.N. Gumilyov Eurasian National University

Tel: +7 (7172) 709-500, (ext.31-410). Website: <http://bulphysast.enu.kz>

Главный редактор:
Жумадилов К.Ш.,
PhD, проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Зам. главного редактора: Абуова Ф.У., PhD, доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Редакционная коллегия:

Ержанов К.К.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Кайнарбай А.Ж.	к.ф.-м.н., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Козловский А.Л.	PhD, РГП «Институт ядерной физики», Астана, Казахстан
Морзабаев А.К.	к.ф.-м.н., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Салиходжа Ж.М.	к.ф.-м.н., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Усеинов А.Б.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Джансейтов Д.М.	PhD, РГП «Институт ядерной физики», Астана, Казахстан
Шункеев К.Ш.	д.ф.-м.н., Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, Актобе, Казахстан
Исадыков А.Н.	PhD, Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия
Шарафуллин И.Ф.	д.ф.-м.н., Башкирский государственный университет, Уфа, Россия
Сакута С.Б.	д.ф.-м.н., Национальный исследовательский институт Курчатовский институт, Москва, Россия
Луцник А.Ч.	д.ф.-м.н., Тартуский университет, Тарту, Эстония
Попов А.И.	д.ф.-м.н., Латвийский университет, Рига, Латвия
Хоши М.	PhD, Университет Хиросимы, Хиросима, Япония
Тойода Ш.	PhD, Университет Науки Окаямы, Окаяма, Япония
Ертурк С.	PhD, Университет Нийде, Нийде, Турция
Килин Д.	PhD, Государственный университет Северной Дакоты, Фарго, США
Юлун Хан	PhD, Государственный университет Северной Дакоты, Фарго, США

Адрес редакции: **010008, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2**
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, каб. 402
Тел.: **+7(7172) 709-500, (вн. 31-410),**
E-mail: **vest_phys@enu.kz**

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева

Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

Собственник: НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева» Периодичность: 4 раза в год
Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан Свидетельство о постановке на переучет № KZ66VPY00031918 от 02.02.2021 г.

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Кажымукана, 13/1,

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Тел.: +7(7172)709-500 (вн.31-410). Сайт: <http://bulphysast.enu.kz>

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ
ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ СЕРИЯСЫ

ВЕСТНИК ЕВРАЗИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ Л.Н.ГУМИЛЕВА. СЕРИЯ ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

BULLETIN OF L.N. GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY
PHYSICS. ASTRONOMY SERIES

№ 2 (147)/2024

МАЗМҰНЫ/ CONTENTS/ СОДЕРЖАНИЕ

Ғ.Бауыржан, Ф.У. Абуова, Б.М. Сатанова, А.У. Абуова, Г.Д. Кабдрахимова,

А.Д. Акылбекова

Алюминий тотығы бар композиттік наноматериалдардың құрамын өзгерту.....

Ғ. Бауыржан, Ф.У. Абуова, Б.М. Сатанова, А.У. Абуова, Кабдрахимова Г.Д.,

Акылбекова А.Д.

Изменение состава композитных наноматериалов с оксидом алюминия.....

G.Bauirzhan, F.U. Abuova, B.M. Satanova, A.U. Abuova, Kabdrakhimova G.D., Akylbekova A.D.

Changing the composition of composite nanomaterials with alumina.....

6

Nurlan Kanat

Investigation of vertex $a_1 \rightarrow VP$ for hadronic τ decays.....

Нурлан Қанат

τ лептонның адронды ыдыраулары үшін $a_1 \rightarrow VP$ шыңын зерттеу.....

Нурлан Канат

Исследование вершины $a_1 \rightarrow VP$ для адронных τ распадов.....

20



ХҒТАР 29.01.29

<https://doi.org/10.32523/2616-6836-2024-147-2-6-19>

Алюминий тотығы бар композиттік наноматериалдардың құрамын өзгерту

Ғ. Бауыржан, Ф.У. Абуова^{ID}, Б.М. Сатанова*^{ID}, А.У. Абуова^{ID}, Г.Д. Кабдрахимова, А.Д. Акылбекова^{ID}

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

(E-mail: clever_s.balzhan@mail.ru)

Аңдатпа. Алюминий гибриді композиттері алдыңғы қатарлы инженерлік металл матрицалық композиттерінің (ММК) жаңа буынын құрайды. Бұл механикалық қасиеттерді жақсарту, дәстүрлі өңдеу технологияларына қолайлылық және алюминий гибриді композиттерді өндіру шығындарын азайтуға мүмкіндік береді. Материалдардың тиімділігі көбінесе дұрыс таңдауға, арматуралық материалдардың комбинациясына байланысты болып келеді. Себебі кейбір өңдеу жолдары арматуралық бөлшектермен байланысты болғандықтан, алюминий гибриді композиттерін жасауда арматуралық бөлшектердің бірнеше комбинациясы зерттелген. Бұл мақалада гибриді алюминий матрицалық композиттерді өңдеуде қолданылатын арматуралық материалдардың әртүрлі комбинацияларын және олардың материалдардың механикалық, коррозияға және тозуға төзімді сипаттамаларына әсерін қарастыра отырып, материалдарды өндірудің негізгі технологияларын, алюминий гибриді композиттерін одан әрі жетілдіру бағыттарын зерттедік.

Түйін сөздер: алюминий гибриді композит, үзіліссіз арматураланған алюминий матрицалық композит.

1. Кіріспе

Қазіргі заманғы инженерлік жүйелердің талаптары монолитті материал жүйелерін қолдану арқылы жүзеге асыру өте қиын болатын, кең ауқымды қасиеттерге ие материалдарды талап етеді. Бұл комбинацияларыдың кейбір қасиеттеріне мыналарды жатқызуға болады: жоғары меншікті беріктік, жылу кеңеюінің төмен коэффициенті және жоғары термиялық төзімділік, жақсы демпферлік мүмкіндіктер, тозуға жоғары төзімділік, жоғары меншікті қаттылық және коррозияға төзімділіктің қанағаттанарлық деңгейі. ММК-тер көптеген қолданбаларда дәстүрлі металл қорытпаларын жылдам алмастыруда, өйткені олардың қолданылуы негізінен аэроғарыш, автомобиль, қорғаныс, теңіз, спорт және демалыс салаларында кеңеюде. ММК негізінен керамикалық материалдармен күшейтілген металл қорытпалары болып табылады. Әдетте металл қорытпалары жеңіл металл (Al, Mg және Ti) қорытпалары болады, бірақ мырыш (Zn), мыс (Cu) және тот баспайтын болат сияқты басқа металл қорытпалары да қолданылған. Алюминий ММК әзірлеуде матрицалық материал ретінде ең көп қолданылатын металл қорытпасы болып қала береді және оның себептері нақты[1]. Сол сияқты, алюминий матрицалық композиттерді (АМК) өндіру үшін үздіксіз керамикалық талшықты бөлшектерге қарағанда үзіліссіз жіп тәрізді керамикалық бөлшектерді пайдаланудың артықшылықтары бар екендігі мақалаларда көрсетілген. Дегенмен, дәстүрлі керамикалық арматура материалдарының жоғары құны және тасымалдаудағы шектеулер, әсіресе дамушы елдерде, басты мәселе болып қала беруі үзіліссіз арматураланған алюминий матрицалық композиттердің (ҰААМК) дамуымен байланысты[2-3].

2. Зерттеу әдісі

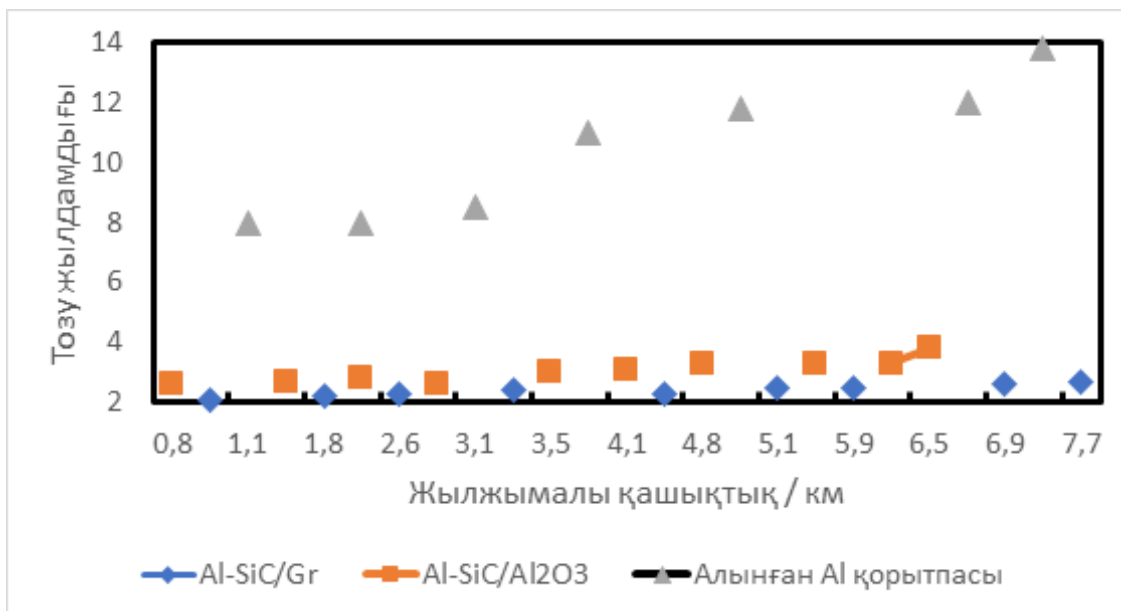
Зерттеушілерді қызықтыратын ҰААМК алдында тұрған тағы бір қиындық – төмен икемділік, төмен сыну беріктігі және ҰААМК коррозиясының әрекетін болжау мүмкін еместігі. Бұл мәселелерді шешуге бағытталған ғылыми зерттеу негізінен арматуралық материалдарды дұрыс таңдауға бағытталған. Бұл арматуралық материалдар композиттердің жалпы өнімділігін анықтауда маңызды рөл атқаратынын көрсетеді. Осы зерттеуді дайындау кезінде қаралған ҰААМК өнімділігін жақсарту үшін үш түрлі тәсіл қолдану қабылданғаны жарияланған мақалалардың санын ескере отырып атап өтілді. Бірінші тәсіл ҰААМК әзірлеу кезінде балама және арзан арматураларды іздеуді қамтиды[4]. Бұл дәстүрлі керамикалық арматураның жоғары құны мен шектеулі қолжетімділігіне байланысты мәселелерді шешуге бағытталған. Өнеркәсіптік қалдықтар мен агроқалдықтардың туындылары зерттелген балама арматуралық материалдардың кейбірі болып табылады. Жүргізілген зерттеулерден алынған нәтижелер осы балама арматура материалдарын пайдалану келешекті болып шықты, өйткені олар арматураланбаған қорытпаны пайдаланып жасалған композиттердің қасиеттерін айтарлықтай жақсартуды көрсетеді. Дегенмен, олар әдеттегі синтетикалық арматураны пайдаланып жасалған ҰААМК-мен салыстырғанда кемшілік байқалады.

Екінші тәсіл синтетикалық бөлшектердің мөлшерін азайту арқылы, керамикалық материалдар микрон масштабынан нано масштабқа дейін (әдетте <50м-ден орташа <100нм-ге дейін), ҰААМК қасиеттерін оңтайландыруға бағытталған[5]. ҰААМК -тердің сынуға төзімділігі мен икемділігі туралы хабарланған нанобөлшектерді нығайтқыш материалдар ретінде пайдаланған кезде беріктіктің айтарлықтай төмендеуінсіз жақсарды. Әсіресе АМК өндірісі бар дамушы елдерде бұл даму қызықты болып көрінеді, бірақ жоғары құны және нано-бөлшектердің қолжетімділігі шектеуші фактор болып есептеледі. Сондай-ақ, нанобөлшектермен күшейтілген композиттердегі иілгіштік пен сыну беріктігін арттыру механизмдерін негіздеуге әлі де бұлтартпас дәлелдер бар. Үшінші тәсіл екі немесе одан да көп арматуралық материалдарды қолдану арқылы ҰААМК әзірлеуді қамтиды. Бұл ҰААМКбөлігі гибриді композиттер деп аталады. Бұл тәсіл ҰААМК құрылғыларындағы меншікті оңтайландырумен бірге шығындардың біршама төмендеуіне мүмкіндік береді. Кейбір авторлар өңдеу құны төмендеген кезде де жалғыз күшейтілген АМК салыстырғанда гибриді АМК салыстырмалы жақсартылған сипаттамалары туралы хабарлады[6]. Бұл гибриді күшейтілген АМК-тердің назарда болуы, себебі зерттеушілер осы бағыт бойынша жоғары табысты ММК-ті әзірлеудің үлкен перспективаларын болжап отыр. Бұл мақала гибриді АМК әзірлеу кезінде пайдаланылатын бөлшектердің әртүрлі үйлесімі бойынша жүргізілген зерттеулерді және оның композиттердің жалпы тиімділігіне қалай әсер ететінін қарауға мүмкіндік береді. АМК әзірлеу кезінде пайдаланылатын әртүрлі арматуралау материалдарын синтетикалық керамикалық бөлшектер, өнеркәсіптік қалдықтар және ауыл шаруашылығы қалдықтары болып табылатын үш үлкен топқа бөлуге болады. Гибридік арматураның соңғы қасиеттері таңдалған арматураның және матрицалық қорытпаның жеке қасиеттеріне байланысты болады. Оның үстіне АМК синтезі үшін таңдалған технологиялық бағыт АМК түпкі қасиеттеріне әсер ететін матрицалық қорытпаның және арматуралайтын материалдардың табиғатына байланысты. Бұл АМК жобалау кезінде ескерілетін параметрлердің көпшілігі арматуралау материалдарымен байланысты. Мұндай параметрлердің кейбіреулері – арматураның түрі, өлшемі, пішіні, серпімділік модулі, қаттылығы, матрицада басқалардың арасында таралуы[7]. Бұл арегидриді АМК екі синтетикалық керамикалық материалдармен; синтетикалық қыш материалдармен үйлескен агро-қалдықтардың туындысы; және синтетикалық арматурамен үйлескен өнеркәсіптік қалдықтар. Бұл гибриді АМК материалдары негізінен өндіріске жұмсалатын шығындарды аз ескере отырып, өнімділікті оңтайландыру үшін әзірленген. Кремний карбиді (SiC), алюминий тотығы (Al_2O_3), бор карбиді (B4C), вольфрам карбиді (WC), графит (Gr), көміртекті нанотүтіктер (CNT) және кремний диоксиді (SiO_2) зерттелген синтетикалық керамикалық бөлшектердің кейбірі, бірақ кремний карбиді мен алюминий тотығы басқа синтетикалық арматурамен салыстырғанда көбірек пайдаланылатын бөлшектер. SiC күшейтілген кәдімгі АМК Al_2O_3 монокристалл қорытпалар бойынша жақсартылған беріктікті және меншікті қаттылықты көрсетті, бірақ бұл қираудың иілгіштігі мен тұтқырлығына байланысты. Үзілген кездегі иілгіштік және соққы тұтқырлығы пайдалану немесе соққы жүктемесін қолдану процесінде кернеу кезінде бұзылуды болдырмау үшін қажетті материалдың маңызды қасиеттері болып

табылады [8-9]. Жоғарыда айтылғандай, бұл АМС-тың коррозиялық өнімділігі де бұрын жарияланған есептерге сәйкес келмейді. Олар қасиеттерін оңтайландыру үшін екі немесе одан да көп синтетикалық нығайтқыш бөлшектерді пайдалануды талап етті. Бор графиті мен карбиді SiC немесе АМК өнімділігін оңтайландыру Al₂O₃ бірге пайдаланылады.

3. Зерттеу нәтижелері

Арматуралық материалдардың кесінді аймағында таралуы 1-суретте көрсетілген гибриді АМК. Гибриді композиттердің қаттылығы мен тозуға төзімділігі матрицалық материалдың қаттылығы мен тозуға төзімділігінен асып келеді. Алайда, Al₂O₃ бар композит, өзінің қаттылығына қарамастан, Gr (1-суретте көрсетілгендей) бар композиттермен салыстырғанда тозуға төмен төзімділікке ие, өйткені Gr Al₂O₃-ке қарағанда майлаудың неғұрлым жоғары әсерін көрсетеді.



Сурет 1. Al-SiC,Gr және Al-SiC, Al₂O₃ беттік гибриді композиттен кейін жылжу қашықтығымен тозу жылдамдығының өзгеруі

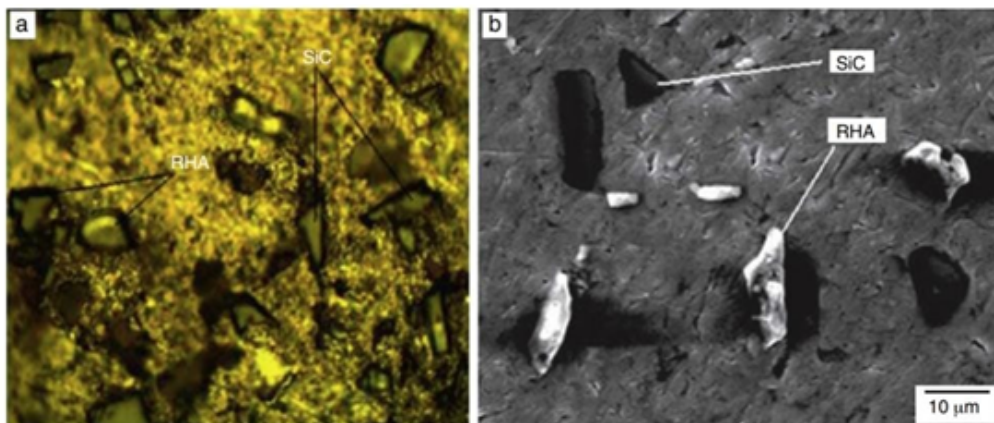
Арматураланбаған қорытпалармен салыстырғанда гибриді композициялардың тозуға төзімділігі SiC карбидінің көтергіш қабілетімен және Al₂O₃ қатты майлау әсерімен түсіндіріледі. Al₂O₃ бор нитридін (BN), графит сияқты жақсы қатты майлау материалы бар ұқсас алты бұрышты жабық тұраққа қойылған құрылымнан қатты майлау әсеріне ие екені хабарланды. Салмақтық үлесі 10% SiC күшейтілген алюминий композиттеріне қосылған слюда мөлшері 3-қадамда 6% құрады. Гибриді арматура ретінде слюда және SiC бар композиттерге қарағанда жоғары қаттылықты, созылу және тозуға төзімділікті жалғыз күшейтілген кремний карбидті алюминий композиттері көрсетті. Байқалған тозуға төзімділікті тозуға кететін шығынды азайтатын композиттерде тұрақты механикалық

аралас қабаттың (МАК) пайда болуына жұмсалады. Гибрид 3% масса слюдасы бар композиттер ең жоғары тозуға төзімділікке, күш пен қаттылыққа ие [10]. Бұл қасиеттер слюда ретінде төмендеді мазмұны 6% массаға дейін өсті. Мұның себебі хабарланбады және әлі де зерттеуді қажет етеді. Al_2O_3 және В4С күшейтілген алюминий гибриді композиттердің механикалық қасиеттерін бағалады. В4С жоғары құнына қарамастан оның беріктік, төмен тығыздық, өте жоғары қаттылық, жақсы химиялық тұрақтылық және нейтрондарды сіңіру сипаттамалары қарастырылды. Күшейтілмеген қорытпаға қарағанда гибрид композиттер жоғары қаттылық пен соққыға төзімділігін көрсетті. Дегенмен, гибриді аналогтардың қасиеттеріне қарағанда күшейтілмеген қорытпа сәл жоғары созылу беріктігі мен жоғары иілу қабілетіне ие болды. Микроқұрылымдық талдау нашар араластыруды және оның біркелкі емес таралуын көрсетті, бұны бақылау үшін матрицадағы күшейтулер жауапты болды. Алюминий гибриді нанокомпозиттердің механикалық қасиеттерін және микроқұрылымын қатты майлаушы ретінде графит қосу арқылы зерттедік. Массалық үлесі 10% композиттерде графит мөлшері әр түрлі болып табылады, массасының 5%-ы SiC болды. Қаттылық күшейтілген сайын созылу күші және тозуға төзімділігі артатыны туралы айта кеткен жөн. Бір арматураланған гидридті композиттер 5% Al, SiC композит 5% Al, SiC 10% ең жоғарғы беріктік пен тозуға төзімділікке ие. Бұл көтергіш жүктемелерге және қатты керамикалық бөлшектерді бекіту әсеріне, сондай-ақ графит, алюминий оксиді және бор нитридін сияқты таңдалған арматураға ие қатты майлау әсеріне байланысты болды. Алайда, бұрын осы салада жарияланған мақалаларға қарағанда, алюминий гибриді композиттердің коррозиялық қасиетіне қоспалы синтетикалық керамикалық арматураның әсері туралы әзірге ақпарат жоқ екенін атап өткен жөн. Бұдан басқа, қоспалы синтетикалық арматураланған гибриді композиттерде қол жетімді бұйымдардың көпшілігі жеке арматураланған композиттермен емес, арматураланбаған қорытпамен алынған механикалық қасиеттерді салыстырды, сондықтан жеке арматураланған композиттермен қоспалы синтетикалық цементпен гибриді композиттерді салыстыру кезінде механикалық қасиеттердің қаншалықты жақсаратынын анықтау үшін одан әрі зерттеулер жүргізу керек. Бұл өнімнің өзіндік құнына сәйкес өңдеудің оңтайлы параметрлерін айқындау үшін негіз бола алады [11].

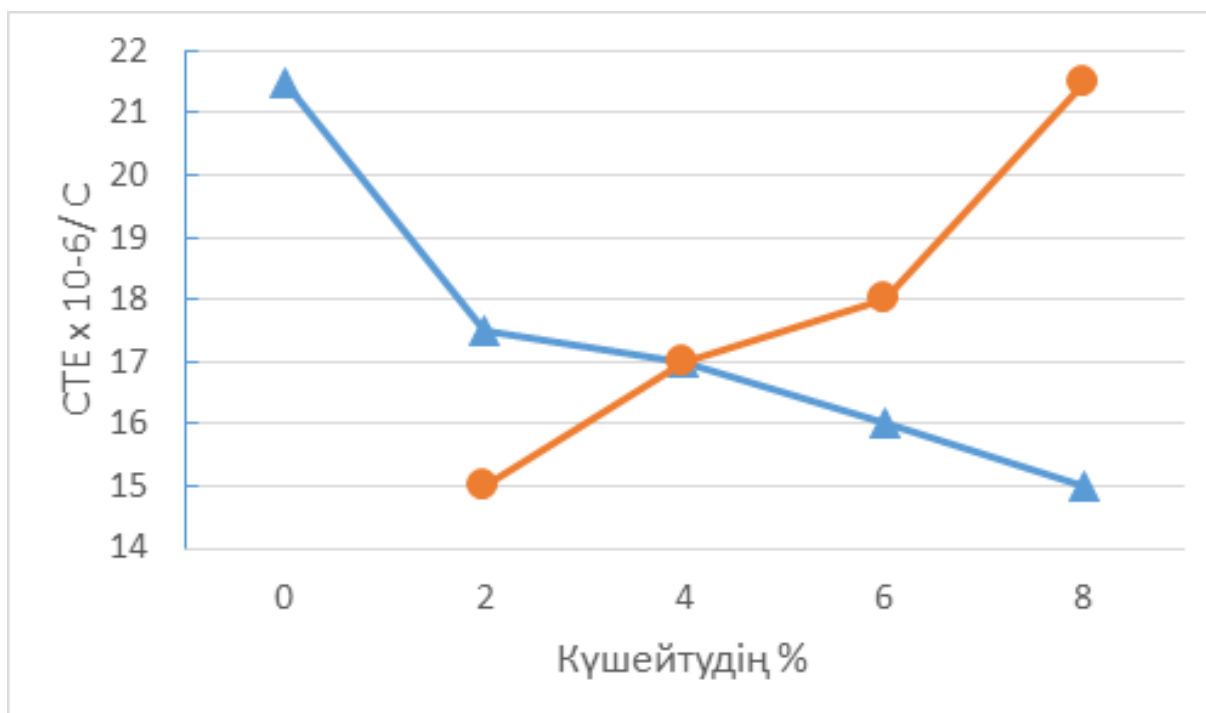
Синтетикалық күшейтуге қосымша ретінде туынды агро-қалдықтарды пайдалана отырып, гибриді АМК жаңа буыны әзірленді. Ауыл шаруашылығы қалдықтарының туындылары АМК синтезінде пайдалану кезінде кейбір артықшылықтарды ұсынады. Бұл артықшылықтар төмен құнды, қол жетімділікті, төмен тығыздықты, қоршаған ортаның ластануын төмендетуді қамтиды. Бірнеше агро қалдықтар күлге қайта өңделді және олардың арматуралау фазасының материалы ретінде пайдалануға жарамдылығы зерттелді [16, 19]. Ауыл шаруашылығы қалдықтарының туындылары коммерциялық ауқымда АМК әзірлеу үшін өте перспективалы материалдар болып табылады деп есептеледі. Бұл дамушы елдердің көпшілігінде шектеулі синтетикалық арматуралау материалдарының болуына байланысты және арматуралау материалдары бар жерлерде олар өте қымбат. Бұдан басқа, дамушы елдердің көпшілігі дамыған елдер сияқты өнеркәсіптік жағынан дамымаған, сондықтан өнеркәсіптік қалдықтарды (ұшпа күлді)

пайдалану жеткіліксіз болып табылады, өйткені бұл қалдықтар шектеулі. Толықтырушы арматура функциясын орындайтын агро-өңделген күлмен гидробридті АМК әзірлегенге дейін жеке арматураланған АМК әзірленді. Жалпы, ауыл шаруашылығы қалдықтары арматураланбаған қорытпамен салыстырғанда АМК қасиеттерін жақсартты. Алайда алынған қасиеттер синтетикалық арматураның қасиеттерінен төмен. Беріктік деңгейі төмендетілген деңгейде ұсталатын тиімділігі жоғары гибридті АМК өндіруге бағытталған зерттеу күш-жігері гибридті АМК-ның осы класын дайындауға ықпал етті.

Төменде ауыл шаруашылығы қалдықтарының туындыларымен және синтетикалық керамикалық бөлшектермен күшейтілген АМК-ның соңғы зерттеулеріне шолу берілген. Al-Mg-Si арматураланған күріш қабығы күлінен және араластырумен құйып алынған алюминий оксидінен жасалған матрицаның негізінде гибридті композитті дайындау сипаттамалары мен механикалық тәртібі [20]. 10% нығайту компоненті 2, 3, 4 және 6% КҚК алюминий оксидіне қосымша ретінде тұрады. Авторлар гидридтік композиттердің қаттылығы, созылу беріктігінің шегі жалғыз арматураланған Al-Mg-Si/Al₂O₃ композиттермен салыстырғанда аздап төмендегенін хабарлаған. Алайда құрамында 2% бар композиттердің үлгілері жеке арматураланған АМК-ға қарағанда неғұрлым жоғары меншікті беріктікті, ұзарту пайызын және бұзылу тұтқырлығын көрсетті. Ағымдылық шегінің, созылу және қаттылық кезіндегі беріктік шегінің шамалы төмендеуі күріш қабығындағы басым қосылыс болып табылатын кремний диоксиді қаттылығының неғұрлым төмен мәнімен түсіндіріледі. Бұдан басқа, алюминий серпімділік модуліне жақын SiO₂ серпімділік модулі (60-70GPa) де беріктікті төмендетуге ықпал етеді. Зерттеушілер тікелей және жанама тетіктер ретінде АМК тетігін құрды және нығайту туралы хабарлады. Тік сызық жұмсақ матрицадан қатты керамикалық бөлшектерге жүктемені беруді қамтиды, ал жанама тетік матрицаның жылулық кеңею коэффициенті (ЖКК) мен өндірістік процесс кезінде арматуралау арасындағы жылулық сәйкессіздіктен дислокацияның жоғары тығыздығын құруды қамтиды. Композиттердің беріктігі мен қаттылығының төмендеуіне қарамастан, ең жоғары қалпына келтіру аспаптық ұзындығы 11% -дан кем болды, тіпті Al₂O₃ 60% КҚК-ға ауыстырылды.



Сурет 2. (а және б) Al 356.2/КҚК/SiC композиттерінің оптикалық және сканерлейтін электрондық микросұлбалары



Сурет 3. МЖКК және дислокация тығыздығының %-бен өзгеруі

2 сатысында 2%-дан 8%-ға дейін күріш қабығы күлінің және кремний карбидінің тең мөлшерін қамтитын касталюминийді араластыратын гибриді композитке зерттеу жүргізді. Матрицада реинаның біртекті таралуы байқалатыны анықталды (3-сурет). Қаттылық, ағымдылық шегі және созылу кезіндегі беріктік шегі беріктіктің ұлғаюымен ұлғайды, ал пайыздық ұзарту және ЖКК арматуралаудың ұлғаюымен инверсиялық қатынасы болды. Нығайту тетігі 6-суретте көрсетілгендей арматуралаушы материалдардың ұлғаюы кезінде дислокация тығыздығының ұлғаюын тудыратын термальматизммен байланысты болды. Бұдан басқа, 4-суретте көрсетілген 155 С кезінде гибриді композиттердің қартаю реакциясы монолитті қорытпаға қарағанда жылдам болды. Гибриді композиттер үшін максималды қаттылықты алу мерзімі композиттердің орналасу тығыздығы жоғары болғандықтан монолитті қорытпаға қарағанда жоғары болды.

57,5 және 10% кремний карбиді және КҚК күшейтілген Al (6063) гибриді композиттерінің механикалық мінез-құлқын бағалады. Күшейтуші фазадағы КҚК қоспаларының арақатынасы 1:0 құрайды; 1:3; 1:1; 3:1 және 0:1. Созылу кезіндегі беріктік шегі, аққыштық шегі және композиттердің меншікті беріктігі нығайту фазасының салмақтық пайызының ұлғаюымен (КҚК + SiC) ұлғайғаны, ал қирау тұтқырлығы нығайту фазасының салмақтық пайызының ұлғаюымен азаятыны хабарланды.

Мақалада композиттердің механикалық қасиеттері бойынша КҚК теролын мұқият бақылау арматуралау фазасындағы КҚК құрамының ұлғаюына қарай ағымдылық шегі, созылу кезіндегі беріктік шегі және меншікті беріктігі төмендейтінін көрсетеді. Бұл

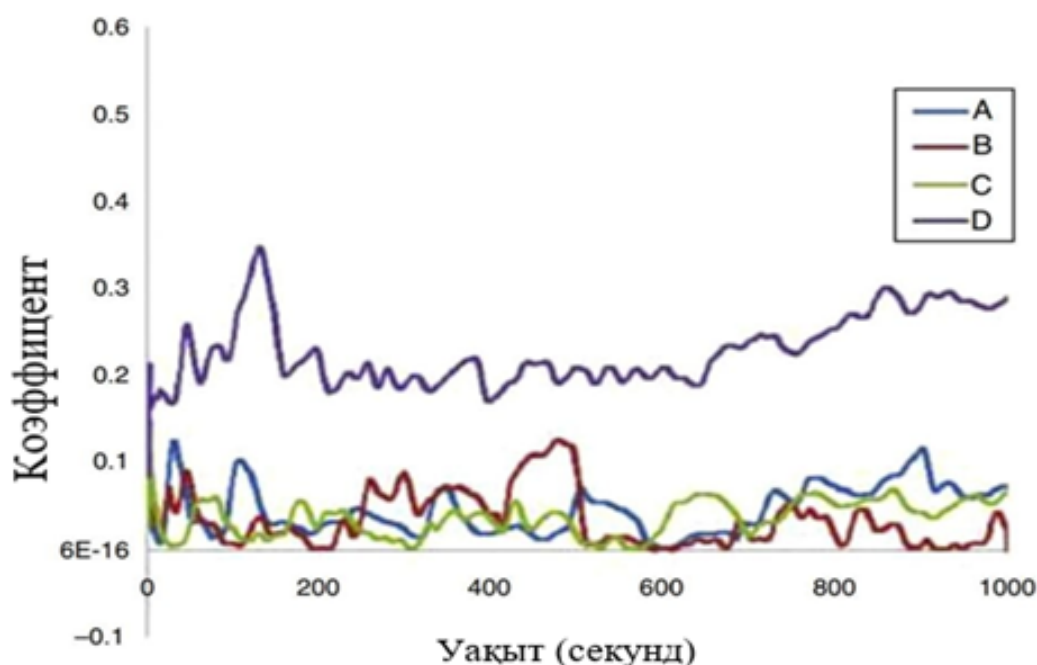
кремний карбидінің қаттылығымен үйлесімде КҚК бар кремнеземнің төмен қаттылығы мен серпімділік модулімен түсіндіріледі. Беріктіктің төмендеуіне қарамастан, меншікті беріктіктің төмендеу пайызы тұрақсыздық шегімен салыстырғанда айтарлықтай төмен болды. Сондай-ақ 1:3 (КҚК: SiC) арматуралаушы қоспа коэффициенті бар үлгінің қабықшамен күшейтілген Al-Mg-Si/SiC композиттерінің мәндеріне өте жақын мәні болғаны хабарланды. Құрамында КҚК бар гибриді композиттер композиттерде SiC қатты бөлшектерін азайту кезінде бұзылу тұтқырлығын жақсартады.

БЖК-ның Al_2O_3 -тің Al-Mg-Si негізіндегі гибриді композиттің механикалық мінез-құлқына қосымша күшейту ретіндегі әсерін зерттеді. ҰҰА оның күшейткіш фазасының барлық 10 салмақ %-дан 2, 4 және 6%-ын құрайды. Созылу кезіндегі беріктік шегі, ағымдылық шегі және беріктіктің үлестік шегі арматуралау фазасындағы БЖК ұлғаюымен төмендейтіні хабарланды. Дегенмен, Al_2O_3 -ті БЖК-ға 40% ауыстырғанда да аздаған төмендеу 9%-дан аз болды. Бұл БЖК енгізу гибриді композиттердің өнімділігіне елеулі әсер етпейтінін көрсетеді. РНА жағдайында хабарланған қоспаның белгілі бір арақатынасы үшін БЖК толықтырушы нығайтқыш Al_2O_3 және (SiC) ретінде пайдалану кезінде сүйектердің үзілуіне төзімділік пен жақсартылған иілімділікті көрсетті.

Гибридік АМК-да зерттелген баптарды қарастыра отырып, гибридік АМК-ны әзірлеу кезінде қосымша күшейту ретінде туынды агро-қалдықтарды пайдалану қирау тұтқырлығын және беріктікті едәуір төмендетпей АМК-ны қирау қабілетін жақсартуы мүмкін деген қорытынды жасау орынды. Механикалық қасиеттері тұрғысынан шығындарды төмендетудегі және өнімділік деңгейлерін қолдаудағы туынды агроқалдықтардың әлеуетті мүмкіндіктеріне қарамастан, бірнеше зерттеушілер олар коррозиялық және тозған шабуылдардың әсеріне ұшырайтын қосымшаларда пайдаланылатын АМК-ның коррозиялық және тозуға төзімділігіне туынды қалдықтардың күшеюінің әсері туралы білуге қызығушылық танытты. Агро-қалдықтардың туындылары олардың құрамында күл тозаңы жағдайындағыдай 50% кремний диоксидінің болуына байланысты Al_4C_3 фазаны басу әлеуетіне ие екені белгілі. Кейбір зерттеушілер үшін бұл құбылыс ауыл шаруашылығы қалдықтарының синтетикалық және туынды түрлерімен күшейтілген гибриді АМК-да жоғары коррозиялық төзімділікке қол жеткізуге көмектесетінін анықтау қызықты болды. Аланеме гравиметриялық талдауды пайдалана отырып, БЖК және SiC күшейтілген гибриді АМК коррозиялық сипаттамаларына БЖК әсерін зерттеді. Олар БЖК коррозияға төзімділікті 3,5% NaCl жақсартқанын көрсетті, ал бір күшейтілген Al-Mg-Si/10 салм.% SiC 0,3 M H_2SO_4 жоғары коррозияға төзімділікке ие. КҚК салдарынан коррозияға төзімділігі төмен осындай бақылау 3,5% NaCl ортасында Al-Mg-Si/SiC-КҚК гибриді композиттері үшін де хабарланды. «Матрица-нығайту» бөлімінің шекарасында Al-Mg-Si анодты матрицасының артықшылықты еруі коррозияның негізгі тетігі ретінде белгіленген. Nyғайту фазасы ретінде КҚК Al_2O_3 мен БЖК- Al_2O_3 бар гибриді АМК үшін гибриді АМК-ның коррозиялық төзімділігі ауыл шаруашылығы қалдықтарының күлін қосу кезінде төмендейді. Жоғарыда хабарланған коррозиялық-механикалық қасиеттері БЖК/SiC ұқсас болды. КҚК және БЖК гибриді АМК жасау кезінде Al_4C_3 фазаның пайда болуынан тиімді түрде аулақ болса да, кейбір жағдайларда Mg2Si шөгуді жергілікті коррозияны

күшейтеді. Әдетте, көптеген гибридік АМК үшін тозу жылдамдығы жеке күшейтілген АМК-мен салыстырылады.

Олардың қоспаларының кейбір арақатынастарының тозу сипаттамалары (агро-қалдықтардың туындылары + синтетикалық керамикалық материалдар) әдетте жекелеген арматураланған АМК тозу сипаттамаларынан асып түседі. Тозуға төзімділігі жақсарған гибридік арматуралау әдетте композиттердің бетіндегі қоқыстың аз болуынан адгезивті тозу механизміне қарағанда тозудың абразивтік механизмін көрсетеді. Композиттердің бетіндегі сынықтардың адгезиясы үйкеліс коэффициенті мен тозу жылдамдығын арттырды. Гибридік Al-Mg-Si-БЖК-Al₂O₃ тозған беттері 4-суретте көрсетілген. Құрамында 2 және 3 салмақ % БЖК бар гибридік композиттер құрамында 4% БЖК бар гибридік композиттермен салыстырғанда бетіне бекітілген қоқыстың аз мөлшерін көрсетті, бұл абразивті тетікті көрсетеді.

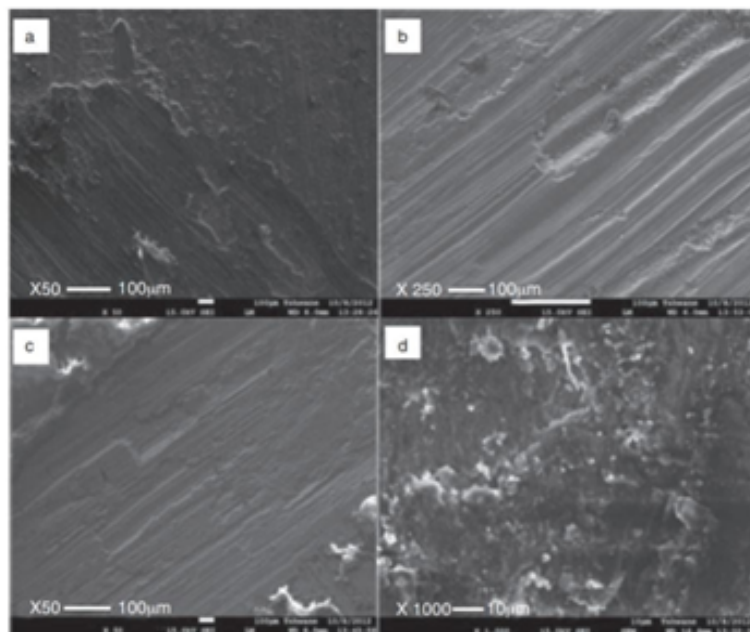


Сурет 4. Жеке күшейтілген Al-Mg-Si-10%, Al₂O₃ (A) және гибридік күшейтілген Al-Mg-Si, БЖК - Al₂O₃ Al-Mg-Si-2%, БЖК- 8% Al₂O₃ (B), Al-Mg-Si-3%, БЖК- 7%, Al₂O₃ және Al₂O₃ (D) композиттерінің 6%, БЖК- және Al-Mg-Si-4%(C).

Жеке күшейтілген АМК сияқты гибридік күшейтілген АМК әдетте екі бағыт бойынша жасалады, атап айтқанда: тұтас жол және өтімді жол. Қатты жол ұнтақ металлургия әдістерін қамтиды, ал кешенді құю, қысыммен құю және негізінен араластырумен құю әдістерін қамтитын сұйық жол. Ұнтақ металлургия технологиясы гибридік АМК өндірісінде өте маңызды болды, өйткені нығыздаушы бөлшектердің үлкен көлемді үлесі бар композиттер алынуы мүмкін. Бұдан басқа, наноөлшемді бөлшектермен күшейтілген гибридік күшейтілген АМК осы әдістемені пайдалану арқылы табысты

дайындалды. Дайындалғаннан кейін өңдеуді талап етпейтін торлы пішінді бұйымдар ұнтақ металлургияны пайдалана отырып оңай дайындалады. Бұл әдіс көп назар аударады, өйткені бөлшектердің кластерленуінен, суланудан және сұйық металлургия жолымен байланысты кейбір мәселелер болып табылатын жағымсыз фазалардың қалыптасуынан құтылу оңай.

Араластырумен құю технологиясы өзінің қарапайымдылығының, икемділігінің және коммерциялық өміршеңдігінің арқасында АМК жасау технологиясы бойынша анағұрлым зерттелген болып қалады. Күшейткіш бөлшектердің біртекті таралуына алаңдаушылыққа қарамастан, кеуектілік, сулану, бөлшектердің кластерленуі, сегрегация, фазааралық реакциялар және зиянды екінші фазалардың пайда болуы туралы кеңінен хабарланды; бұл проблемаларды оқшаулау тәсілдері жақсы сипатталған. Араластыру жылдамдығы, араластырғыштың айналуы, араластырғыштың осіне жүзінің бұрышы сияқты араластыру параметрлерін оңтайландыру, сондай-ақ араластырғышпен құюдың екі сатылы технологиясын қолдану арқылы бөлшектерді бөлуді және клузирууді болдырмауға болады. Алюминий матрицасы мен нығыздаушы материалдардың арасындағы сулану нығыздаушы жабындармен және K_2TiF_6 , бораксанд және магний сияқты суландырғыш агенттермен жақсартылды. Композиттердің жұмыс сипаттамаларын нашарлататын фазааралық реакцияны және екінші фазалардың пайда болуын алюминий оксиді және бор карбиді сияқты фазааралық реакцияға ұшырамайтын арматуралық материалдарды таңдау жолымен болдырмауға болады. Ыстық изостатикалық престоуді немесе суық деформацияны қолдану құйылған АМК кеуектілігін азайту үшін пайдаланылды.



Сурет 5. SEM-бейнелеу тозған беттер (a) бір арматураланған пайыз өлшемі (b) гибриді BLA-8% салмақ және (d) гибриді арматураланған Al-Mg-Si репринтед.

4. Қорытынды

Бұл мақалада гибриді АМК синтезі кезінде пайдаланылатын күшейткіштердің әртүрлі үйлесімі және оның тиімділігіне қалай әсер ететіні көрсетілген. Қос синтетикалық керамикалық күшейтілген гибриді АМК, олар әлі де әртүрлі коррозиялық ортада сынауға жататын арматураланбаған қорытпалармен салыстырғанда жақсы механикалық және трибологиялық қасиеттерін көрсетуіне қарамастан, олардың коррозиялық мінез-құлқын айқындайды. Бұдан басқа, компар-изон гибриді күшейтуді пайдалану кезінде жақсартуға қалай қол жеткізілетінін анықтау үшін жеке күшейтілген маркалы гибриді композиттер арасында жасалуы тиіс. Туынды ауыл шаруашылығы және өнеркәсіп қалдықтарын пайдалануды қамтитын гибриді композиттердің жаңа буыны үшін арматураланбаған қорытпамен салыстырғанда жақсартылған өнімділік белгіленді. Алайда құрамында ұшпа күл бар гидробриді АМК-ның синтетикалық арматураланған жалғыз АМК-мен салыстырғанда жақсару дәрежесі әлі де болса шпильканы қажет етеді. Агро-қалдықтардың туындыларымен күшейтілген гибриді АМК өнімділіктің жоғары деңгейі АМК-да өндірістің құны төмендеген кезде, тіпті агро-қалдықтары бар синтетикалық арматураны шамамен 50% -ға ауыстырған кезде де ұсталатынын көрсетті. Агроқалдықтарды көбірек зерттеу керек және одан арғы зерттеулер қайта өңдеудің оңтайлы параметрлерін анықтау үшін өндірістік процесті оңтайландыруға шоғырлануы тиіс. Бұл агро және өнеркәсіптік қалдықтарды пайдалана отырып, өнеркәсіптік ауқымда гибриді АМК өндіру үшін негіз болады. Гибриді АМК өндірісінде қолданылатын ең кең таралған технологиялар араластыру құю және ұнтақ металлургия болып табылады, олар тіпті коммерциялық көлемде қолданылады. Ақырында, фрикциялық араластырғыштары мен көлемді АМК бар жақында әзірленген беттік АМК артықшылықтарын пайдалану үшін қосымша зерттеулер қажет.

5. Қолданылған әдебиеттер

1. Rajmohan T, Palanikumar K, Arumugam S. Synthesis and characterization of sintered hybrid aluminium matrix composites reinforced with nanocopper oxide particles and microsilicon carbide particles. 2014;59:43–9.
2. Garbiec D, Jurczyk M, Levintant-Zayonts N, Mos'cicki T. Properties of Al–Al₂O₃ composites synthesized by spark plasma sintering method. Arch Civil Mech Eng 2015 [cited 2015 Apr 7], available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1644966515000199>
3. Akhlaghi F, Zare-Bidaki A. Influence of graphite content on the dry sliding and oil impregnated sliding wear behavior of Al–graphite composites produced by in situ powder metallurgy method. 2009;266(1–2)
4. Zoltan K, Csaba B, Katalin B, Attila P, János L, Ayaj D. Hybrid aluminium matrix composites prepared by spark plasma sintering (SPS). Hybride Alum Matrix Compos Spark Plasma Sinter Sect B – Res Pap Eur Chem Bull 2014;3(3)
5. Morsi K, Esowi AMK, Lanka S, Sayed A, Taher M. Spark plasma extrusion (SPE) of ball-milled aluminum and carbon nanotube reinforced aluminum composite powders. Compos Part Appl Sci Manuf 2010;41(2):322–6.

6. Rohatgi P. Cast aluminum-matrix composites for automotive applications. J Manag 1991;43(4):10–5.
7. Kaczmar JW, Pietrzak K, Włosin' ski W. The production and application of metal matrix composite materials. J Mater Process Technol 2000;106(1–3):58–67.
6. Saheb N, Iqbal Z, Khalil A, Hakeem AS, Al Aqeeli N, Laoui T, Spark plasma sintering of metals and metal matrix nanocomposites: a review. J Nanomater 2012;2012:e983470.
9. Ravi R, Srekumar M, Pillai M, Mahato C, Amaranathan R, Arul kumar R, et al. Optimization of mixing parameters through a water model for metal matrix composites synthesis. Mater Des 2007;28(3):871–81.
10. Singia M, Dwiveda D, Singh L, Chawla V. Development of aluminium based silicon carbide particulate metal matrix composite. J Miner Mater Charact Eng 2009;8(6):455.
11. Hashim J, Looney L, Hashmi MSJ. Metal matrix composites: production by the stir casting method. J Mater Process Technol 1999;92–93:1–7.

Ғ. Бауыржан, Ғ.У. Абуова, В.М. Сатанова, А.У. Абуова, Кабдрахимова Г.Д., Акылбекова А.Д.
Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Изменение состава композитных наноматериалов с оксидом алюминия

Аннотация. Алюминиевые гибридные композиты представляют собой новое поколение передовых композитных металлических матриц. Это позволяет улучшить механические свойства, удобство использования традиционных технологий обработки и снизить затраты на производство алюминиевых гибридных композитов. Эффективность материалов во многом зависит от правильного выбора, сочетания армирующих материалов. Поскольку некоторые обрабатываемые жилеты связаны с армирующими деталями, было исследовано несколько комбинаций армирующих деталей при изготовлении алюминиевых гибридных композитов. В этой статье мы исследовали основные технологии производства материалов, направления дальнейшего совершенствования алюминиевых гибридных композитов, рассматривая различные комбинации армирующих материалов, используемых при обработке гибридных алюминиевых матричных композитов, и их влияние на механические, коррозионные и износостойкие характеристики материалов.

Ключевые слова: алюминиевый гибридный композит, композитный алюминиевый матричный композит с непрерывным армированием

G.Bauirzhan, F.U. Abuova, B.M. Satanova, A.U. Abuova, Kabdrakhimova G.D., Akylbekova A.D.
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Changing the composition of composite nanomaterials with alumina

Abstract. Aluminum hybrid composites form a new generation of Advanced Engineering metal matrix composites. This will improve mechanical properties, suitability for traditional processing

technologies and reduce the costs of manufacturing aluminum hybrid composites. The effectiveness of materials largely depends on the correct choice, the combination of reinforcing materials. Because some processing vests are associated with reinforcing parts, several combinations of reinforcing parts have been studied in the development of aluminum hybrid composites. In this article, we studied the main technologies for the production of materials, directions for further improvement of aluminum hybrid composites, considering various combinations of reinforcing materials used in the processing of hybrid aluminum matrix composites and their influence on the mechanical, corrosion and wear-resistant characteristics of materials.

Keywords: aluminum hybrid composite, continuous reinforced aluminum matrix composite

Авторлар туралы мәліметтер:

Ғ.Бауыржан – магистрант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан 13, Астана, Қазақстан

Ф.У. Абуова – PhD, қауымдастырылған профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті «Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар» кафедрасы, Қажымұқан 13, Астана, Қазақстан

Б.М. Сатанова – докторант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан 13, Астана, Қазақстан

А.У. Абуова – PhD, қауымдастырылған профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті «Техникалық физика» кафедрасы, Қажымұқан 13, Астана, Қазақстан

Г.Д. Кабдрахимова – PhD, доцент м.а., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті «Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар» кафедрасы, Қажымұқан 13, Астана, Қазақстан

А.Д. Акылбекова – PhD, доцент м.а., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті «Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар» кафедрасы, Қажымұқан 13, Астана, Қазақстан

Сведения об авторах:

Г. Бауыржан – магистрант, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Кажымукан 13, Астана, Казахстан

Ф.У. Абуова – PhD, профессор, кафедра «Ядерная физика, новые материалы и технологии» Евразийского национального университета им. Л.Н.Гумилева, Кажымукан 13, Астана, Казахстан

Б.М. Сатанова – докторант, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Кажымукан13, Астана, Казахстан

А.У. Абуова – PhD, профессор, кафедра «Техническая физика» Евразийского национального университета им. Л.Н.Гумилева, Кажымукан 13, Астана, Казахстан

Г.Д. Кабдрахимова – PhD, и.о. доцента, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Кажымукан 13, Астана, Казахстан

А.Д. Акылбекова – PhD, и. о. доцента, Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Кажымукан 13, Астана, Казахстан

Information about authors:

G.Baurzhan – Master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan 13, Astana, Kazakhstan

F.U. Abuova – PhD, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Department of Nuclear Physics, new materials and technologies, Kazhymukan 13, Astana, Kazakhstan

B.M. Satanova – doctoral student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan 13, Astana, Kazakhstan

A.U. Abuova – PhD, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Department of Technical Physics, Kazhymukan 13, Astana, Kazakhstan

G.D.Kabdrakhimova – PhD, assistant professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan 13, Astana, Kazakhstan

A.D. Akylbekova – PhD, assistant professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan 13, Astana, Kazakhstan



IRSTI 29.05.29
Scientific article

<https://doi.org/10.32523/2616-6836-2024-147-2-20-27>

Investigation of vertex $a_1 \rightarrow VP$ for hadronic τ decays

K. Nurlan 

Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

(E-mail: nurlan.qanat@gmail.com)

Abstract. In the framework of $U(3)$ symmetric quark model, triangular diagrams are calculated that describe the strongly interacting vertices $a_1 \rightarrow \rho\pi$ and $a_1 \rightarrow K^* K$. The divergences arising when considering quark loops are regularized by covariant cut off parameter. Based on four-particle hadronic τ decays, the quark structure of the a_1 resonance with quantum numbers $J^{PC}=1^{++}$ was studied. Theoretical estimates of intermediate channels with the a_1 meson for the partial decay widths of $\tau \rightarrow \pi\pi\nu_\tau$, $\tau \rightarrow KK\nu_\tau$ and $\tau \rightarrow KK\eta\nu_\tau$ are obtained. Contributions from contact channels describing the direct production of 3π , $KK\pi$ and $KK\eta$ mesons by τ lepton current are taken into account. The interference of contact and intermediate axial-vector channels in determining the integral decay widths is studied. The matrix elements of the processes are obtained in the leading approximation of $1/N_c$ expansion. It is shown that calculations on τ lepton mesonic decays confirm the quark-antiquark structure of the a_1 meson and clarify the role of the intermediate non-strange axial-vector channel in determining the integral partial decay widths. The obtained results are compared with experimental data by BaBar and Belle collaborations at the BEPC II and KEK lepton colliders.

Keywords: hadron structure, quark fields, meson interactions.

Introduction

Description of the mass spectrum and interactions of the axial-vector meson field a_1 is an important task in the non-strange $SU(2) \times SU(2)$ sector of low-energy QCD phenomenology. The properties and decays of the a_1 meson field were studied on the basis of inelastic reactions $\pi^- p \rightarrow \pi^- \pi^+ p$ with a beam energy of 190 GeV/c by the COMPASS collaboration [1]. In the CLEO and LCHb experiments at the Large Hadron Collider, branching fractions of heavy $D^0 \rightarrow K^\mp \pi^\pm \pi^\mp$ meson decays measured, where the analysis of obtained data indicates the decisive role of intermediate channels with the a_1 meson [2, 3]. In addition, the parameters of the a_1 meson can be studied in the three-pion final state of the τ lepton decay. The latter comes without hadron impurity and, therefore, provides good accuracy. Relevant studies were carried out in [4,5].

The a_1 meson is characterized by quantum numbers $J^{PC}=1^{++}$. It is generally accepted that this meson is a bound state of $\bar{q}q$ quark fields. Quark fields are associated with the operator $\gamma_\mu \gamma_5$. The mass spectrum of the a_1 meson in the ground and first excited states is described in the quark model [6].

In the present paper, we give a theoretical description of decays $a_1 \rightarrow \rho\pi$ and $a_1 \rightarrow K^* K$. The matrix elements of the indicated decays are calculated in the one-loop quark approximation in the leading order of expansion N_c , where N_c is the number of colors in QCD [6]. The estimates were obtained for the partial widths of $\tau \rightarrow \pi\pi\pi\nu_\tau$, $\tau \rightarrow KK\pi\nu_\tau$ and $\tau \rightarrow KK\eta\nu_\tau$ with different charge combinations which proceed predominantly through intermediate channels containing decays $a_1 \rightarrow \rho\pi$ and $a_1 \rightarrow K^* K$.

Methods

To describe the strong interaction vertices of the meson a_1 with the $\rho\pi$ and $K^* K$ meson fields use the effective Lagrangian obtained on the basis of a model with four-quark interaction [6,7]. The decay $a_1 \rightarrow \rho\pi$ is described by the Feynman diagram shown in Fig. 1. The meson fields in the vertex $a_1 \rho\pi$ are coupled by the u and d quark fields. In the case of $a_1 K^* K$, the strange quark field is in the internal lines. The Lagrangian determined the interaction of meson fields with quarks is represented in the following form

$$\Delta L_{int} = \bar{q} [1/2 \gamma^\mu \gamma^5 \lambda_{\pm,0}^{a_1} g_\rho a_{1\mu}^{\pm,0} + i \gamma^5 \lambda_{\pm,0}^\pi g_\pi \pi^{\pm,0} + 1/2 \gamma^\mu \lambda_{\pm,0}^\rho g_\rho \rho_\mu^{\pm,0} + 1/2 \gamma^\mu \lambda_{\pm,0}^K g_{K^*} K_{*\mu} + i \gamma^5 \lambda_{\pm,0}^K g_K K^{\pm,0}] q,$$

where a_1 , π , ρ , K^* and K are the meson fields; γ_5 , γ_μ are Dirac matrices in four-dimensional Minkowski space; q an r \bar{q} or eu, d and s quark triplets with constituent masses $m_u \approx m_d = 270 \text{ MeV}$ and $m_s = 420 \text{ MeV}$ [7]; λ are linear combinations of Gell-Mann matrices

$$\lambda_-^K = \frac{\lambda_4 - i \lambda_5}{\sqrt{2}}, \quad \lambda_0^K = \frac{\lambda_6 + i \lambda_7}{\sqrt{2}},$$

$$\lambda_-^\rho = \frac{\lambda_1 - i \lambda_2}{\sqrt{2}}, \quad \lambda_0^\rho = \frac{\sqrt{2} \lambda_0 - \lambda_8}{\sqrt{2}}.$$

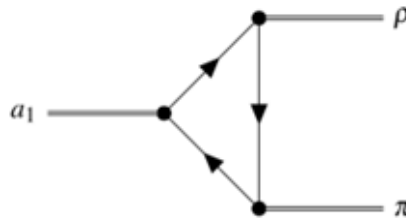


Figure 1. Triangle quark diagram describing decay $a_1 \rightarrow \rho\pi$

The coupling constants g_{ρ^*} , g_K , g_π and g_{K^*} determine the interactions of mesons with quarks [7]. These constants determine the renormalization of meson fields and are expressed through logarithmically divergent integrals

$$g_{K^*} = \sqrt{3/2} I_{11}, \quad g_K = \sqrt{Z_K/4} I_{11}, \quad (2)$$

$$g_\rho = \sqrt{3/2} I_{20}, \quad g_\pi = \sqrt{Z_\pi/4} I_{20},$$

where

$$I_{n_1 n_2} = -i \frac{N_C}{(2\pi)^4} \int \frac{\Theta(\Lambda_4^2 + k^2)}{(m_u^2 - k^2)^{n_1} (m_s^2 - k^2)^{n_2}} d^4 k. \quad (3)$$

Using the Lagrangian (1) above, one can construct a vertex with a triangular loop. Consideration of this vertex leads to an integral of the following form

$$I_{21}^{a_1 \rho \pi} = N_C \int \frac{\text{Tr}[\gamma^\mu \gamma^5 (\hat{k} + \hat{p}_\rho + m_s) \gamma^\nu (\hat{k} + m_u) \gamma^5 (\hat{k} - \hat{p}_\pi + m_u)] d^4 k}{[(k + p_\rho)^2 - m_u^2][k^2 - m_u^2][(k + p_\pi)^2 - m_u^2]} \frac{d^4 k}{(2\pi)^4}. \quad (4)$$

When calculating this integral, we use one-loop approximation [6]. As a result, obtain the following decay matrix element of $a_1 \rightarrow \rho\pi$

$$M(a_1 \rho \pi) = -i F_\pi g_\rho^2 Z_\pi \varepsilon_\mu(a_1) g_{\mu\nu} \varepsilon_\nu(\rho), \quad (5)$$

where $\varepsilon_\mu(a_1)$ and $\varepsilon_\nu(\rho)$ are polarization vectors.

In a similar way, we obtain the amplitude describing the decay $a_1 \rightarrow K^* K$ with the participation of strange mesons

$$M(a_1 K^* K) = -i \frac{3g_\rho g_K}{\sqrt{2}g_{K^*}} (3m_u - m_s) \varepsilon_\mu(a_1) g_{\mu\nu} \varepsilon_\nu(K^*). \quad (6)$$

Results and discussions

The contributions of axial-vector channels to hadronic τ decays

In this chapter we consider mesonic τ decays $\tau \rightarrow \pi\pi\pi\nu_\tau$, $\tau \rightarrow KK\pi\nu_\tau$ and $\tau \rightarrow KK\eta\nu_\tau$ where the vertices $a_1 \rightarrow \rho\pi$ and $a_1 \rightarrow K^*\pi$ obtained above contribute as intermediate channels. The diagrams corresponding to these channels are shown in Fig. 2 and 3. These channels are considered in conjunction with the contact diagram with the axial-vector part of the W boson, when the final products are produced directly by the lepton current. The corresponding diagram for the contact channel is shown in Fig. 4. The decay of $\tau \rightarrow W\nu_\tau$ is described by the electroweak Lagrangian of the standard model (Weinberg – Salam theory) [8,9]. The parts of diagrams describing W boson interaction with meson fields are obtained within the effective quark model.

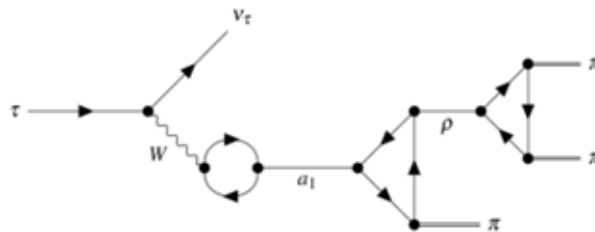


Figure 2. Feynman diagram describing channel with a_1 meson for the decay $\tau \rightarrow 3\pi\nu_\tau$

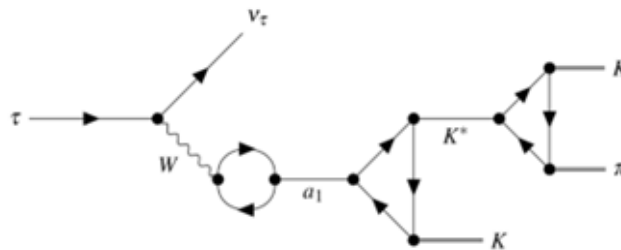


Figure 3. Feynman diagram describing channel with a_1 meson for the decay $\tau \rightarrow KK\pi\nu_\tau$

The decay amplitude $\tau \rightarrow \pi\pi\pi\nu_\tau$ can be represented as the product of the lepton current with the hadronic current in the following form:

$$M(\tau \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^-\nu_\tau) = -iF_\tau G_F V_{ud} L_\mu M_{A\mu} \quad (7)$$

Where $L_\mu = \bar{\nu}_\tau \gamma_\mu (1-\gamma_5) \tau$ is the lepton current, G_F is the Fermi constant, V_{ud} is the element of the Cabibbo-Kobayashi-Maskawamatrix.

The total contribution from contact term and intermediate axial-vector channel reads

$$M_{A\mu} = Z_{\pi} g_{\rho}^2 (g_{\mu\nu} + ((q^2 - 6m_u^2)g_{\mu\nu} - q_{\mu}q_{\nu})BW_{a_1})BW_{\rho}(p_{\pi^+} - p_{\pi^{(1)-}})_{\nu} + (p_{\pi^{(1)-}} \leftrightarrow p_{\pi^{(2)-}}), \quad (8)$$

where p_{π^+} , $p_{\pi^{(1)-}}$ and $p_{\pi^{(2)-}}$ are the momentum of charged pions in the final state.

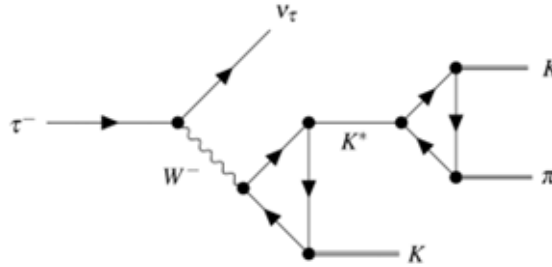


Figure 4. The contact diagram describing decay $\tau \rightarrow KK\pi\nu_{\tau}$

The transition of the W boson into intermediate a_1 meson has a gauge-invariant structure

$$g^{\mu\nu} [q^2 - 6m_u^2] - q_{\mu}q_{\nu} \quad (9)$$

The a_1 meson in the intermediate state is described by the Breit-Wigner propagator

$$BW_M = \frac{g_{\mu\nu}}{M_{a_1}^2 - q^2 - i\sqrt{q^2}\Gamma_{a_1}}. \quad (10)$$

Table 1. Calculated branching fractions (Br) for hadronic τ decays. Comparison of theoretical results with experimental data of BaBar and Belle collaborations is presented.

Mode	$Br(\times 10^{-3})$				
	$\tau \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^- \nu_{\tau}$	$\tau \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^- \nu_{\tau}$	$\tau \rightarrow K^- K^0 \pi^0 \nu_{\tau}$	$\tau \rightarrow K^- K^+ \pi^- \nu_{\tau}$	$\tau \rightarrow K^- K^0 \eta \nu_{\tau}$
Theor	90.5	91.5	1.46	0.4	0.0014
PDG [10]	90.2 ± 0.5	92.6 ± 1.0	1.50 ± 0.07	1.43 ± 0.02	< 0.009
BaBar	88.3 ± 1.3 [11]	-	-	1.34 ± 0.03 [11]	-
Belle	84.2 ± 2.5 [4]	-	1.49 ± 0.07 [12]	1.55 ± 0.01 [4]	-

To calculate the decays $\tau \rightarrow KK\pi\nu_{\tau}$ and $\tau \rightarrow KK\eta\nu_{\tau}$ consider the vertices of W boson interaction with meson fields presented Fig.3. When considering these vertices, use approximation in one-loop. The full matrix elements for axial-vector channels with an intermediate a_1 meson can be found in paper [13].

The obtained results for the decay channels $\tau \rightarrow 3\pi\nu_{\tau}$, $\tau \rightarrow KK\pi\nu_{\tau}$ and $\tau \rightarrow KK\eta\nu_{\tau}$ are given in Table 1. The uncertainty of theoretical calculations is estimated at 15% [6,7].

Conclusion

In the present paper, the vertices $a_1 \rightarrow \rho\pi$ and $a_1 \rightarrow K^* K$ going through the triangular quark loop are calculated (Fig.1). The amplitudes of the processes considered are obtained using chiral Lagrangians in leading order of $1/N_c$, where N_c is the number of colors in QCD. Estimates are obtained for the branching fractions of $\tau \rightarrow 3\pi\nu_\tau$, $\tau \rightarrow KK\pi\nu_\tau$ and $\tau \rightarrow KK\eta\nu_\tau$ taking into account the contact channel and channels with the intermediate meson a_1 . Interference between contact and axial vector channels is always negative due to the negative value of the Breit-Wigner propagator for most of the energy range $(\sum M_p)_2 \leq q^2 \leq M\tau^2$.

Our calculations for the considered hadronic τ decays confirm the quark-antiquark structure of the a_1 meson and clarify the role of intermediate channels with the nonstrange a_1 meson in determining the partial widths of the decays. Model predictions for the branching fraction do not contradict the experimental data of BaBar [11] and Belle [4,12].

Acknowledgement

The author thanks collaborators prof. M.K. Volkov and A.A. Pivovarov. This work was supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan Grant no. BR20280986.

The contribution of the authors

Kanat Nurlan – writing the text and critically revising its content, approval of the final version of the article for publication, agreement to be responsible for all aspects of the work, proper examination and resolution of issues related to the reliability of the data.

References

- Aghasyan M. et al. [COMPASS], Light isovector resonances in π -p \gg π - π - π +p at 190 GeV/c // Phys. Rev. D., Vol. 98, (2018) No.9, 092003, doi:10.1103/PhysRevD.98.092003
- d'Argent P., Skidmore N, Benton J. et al. Amplitude Analyses of $D0 \gg \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$ and $D0 \gg K^+K^-\pi^+\pi^-$ Decays // JHEP, Vol. 05, (2017) No. 143, doi:10.1007/JHEP05(2017)143
- Aaij R. et al. [LHCb], Studies of the resonance structure in $D0 \gg K\pi\pi\pi$ decays, Eur. Phys. J. C, Vol. 78, (2018) no.6, pp. 443, doi:10.1140/epjc/s10052-018-5758-4
- Lee M.J. et al. [Belle] // Measurement of the branching fractions and the invariant mass distributions for $\tau \gg h$ -h+h- ν decays, Phys. Rev. D, Vol. 81, (2010) 113007, doi:10.1103/PhysRevD.81.113007
- Abreu P. et al. [DELPHI], A Measurement of the tau topological branching ratios // Eur. Phys. J. C. Vol. 20 (2001), pp. 617-637, doi:10.1007/PL00011152
- Ebert D., Reinhardt H., and Volkov M.K., Effective hadron theory of QCD // Prog. Part. Nucl. Phys., Vol. 33 (1994), pp. 1-120
- Volkov M.K. and Radzhabov A.E. The Nambu-Jona-Lasinio model and its development // Phys. Usp., Vol. 49 (2006), pp. 551-561, doi:10.1070/PU2006v049n06ABEH005905

Weinberg S., A Model of Leptons // Phys. Rev. Lett., Vol. 19 (1967), pp. 1264-1266, doi:10.1103/PhysRevLett.19.1264

Salam A. Weak and Electromagnetic Interactions // Conf. Proc. C. Vol. 680519 (1968), pp. 367-377, doi:10.1142/9789812795915_0034

Workman R.L. et al. [Particle Data Group], Review of Particle Physics // PTEP 2022 (2022), pp. 083C01, doi:10.1093/ptep/ptac097

Aubert B. et al. [BaBar], Exclusive branching fraction measurements of semileptonic tau decays into three charged hadrons, $\tau \rightarrow \varphi \pi \nu(\tau)$ and $\tau \rightarrow \varphi K \nu(\tau)$ // Phys. Rev. Lett., Vol. 100 (2008), pp. 011801, doi:10.1103/PhysRevLett.100.011801

Ryu S. et al. [Belle], Measurements of Branching Fractions of τ Lepton Decays with one or more K_0 // Phys. Rev. D, Vol. 89, (2014) no.7, pp. 072009, doi:10.1103/PhysRevD.89.072009

Volkov M.K., Pivovarov A.A. and Nurlan K., Three-meson τ decays involving kaons and η mesons in the NJL model // Phys. Rev. D, Vol. 109, (2024) no.1, pp. 016016, doi:10.1103/PhysRevD.109.016016

Нурлан Қанат

*Н.Н. Боголюбов атындағы теориялық физика лабораториясы,
Біріккен ядролық зерттеулер институты, Дубна, Ресей
(E-mail: nurlan.qanat@gmail.com)*

τ лептонның адронды ыдыраулары үшін $a_1 \rightarrow VP$ шыңын зерттеу

Аңдатпа. $U(3)$ симметриялы кваркті модел шеңберінде пәрменді әсерлесу жүзеге асатын $a_1 \rightarrow \rho \pi$ және $a_1 \rightarrow K^* K$ шыңдарын сипаттайтын үшбұрышты диаграммалар есептелді. Кваркты диаграммаларды қарастырған кезде пайда болатын жинақсыздық ковариантты кесу параметрі арқылы реттелген. τ – лептонның төрт бөлшекті адрондық ыдырауы негізінде $J^{PC}=1^{++}$ кванттық сандары бар a_1 резонансының кварк құрылымы зерттелді. a_1 мезоны бар аралық арналардың теориялық бағалары $\tau \rightarrow \pi \pi \pi \nu$, $\tau \rightarrow K K \pi \nu$ және $\tau \rightarrow K K \eta \nu$ жартылай ыдырау ендері үшін есептелді. τ – лептонды токтан 3π , $K K \pi$ және $K K \eta$ мезондарының тікелей тууларын сипаттайтын байланыс арналарының үлестері есепке алынды. Ыдыраулардың интегралдық ендерін анықтауда контактiлi және аралық аксиал-векторлы арналардың интерференциялары зерттелді. Процестердiң матрицалық элементтерi $1/N_c$ кеңеюiнiң жетекшi жуықтауында алынды. τ – лептонның мезондық ыдыраулары бойынша есептеулер a_1 мезонының кварк-антикварк құрылымын растайтыны және ыдыраулардың iшiнара интегралдық ендерiн анықтаудағы аксиал-векторлық аралық арнаның рөлiн нақтылайтыны көрсетiлген. Алынған нәтижелер BEPC II және KEK лептон коллайдерлерiнде алынған BaBar және Belle тәжiрибелiк деректерiмен салыстырылды.

Түйiн сөздер: адрондардың құрылымы, кваркты өрiстер, мезондардың әсерлесулерi.

Нурлан Канат

Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова,
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия
(E-mail: nurlan.qanat@gmail.com)

Исследование вершины $a_1 \rightarrow VP$ для адронных τ распадов

Аннотация. В рамках $U(3)$ симметричной кварковой модели вычислены треугольные диаграммы, описывающие сильно взаимодействующие вершины $a_1 \rightarrow \rho\pi$ и $a_1 \rightarrow K^*K$. Расходимости, возникающие при рассмотрении кварковых петель регуляризуются ковариантным обрезанием. На основе четырех частичных адронных распадов тау-лептона исследована кварковая структура резонанса a_1 с квантовыми числами $J^{PC}=1^{++}$. Получены теоретические оценки промежуточных каналов с мезоном a_1 для парциальных ширин распадов $\tau \rightarrow \pi\pi\pi\nu_\tau$, $\tau \rightarrow KK\pi\nu_\tau$ и $\tau \rightarrow KK\eta\nu_\tau$. Учтены вклады от контактных каналов, описывающие прямое рождение мезонов 3π , $KK\pi$ и $KK\eta$ тау-лептонным током. Исследованы интерференций контактных и промежуточных аксиально-векторных каналов в определении интегральных ширин распадов. Матричные элементы процессов получены в лидирующем приближении разложения $1/N_c$. Показано, что расчеты по мезонным распадам тау-лептона подтверждают кварк-антикварковую структуру мезона a_1 и проясняет роль промежуточного нестранного аксиально-векторного канала в определении парциальных интегральных ширин распадов. Полученные результаты сравниваются с экспериментальными данными BaBar и Belle, полученные на лептонных коллайдерах VEPP-II и KEK.

Ключевые слова: структуры адронов, кварковые поля, взаимодействия мезонов.

Information about the authors:

Нурлан Канат – PhD, Н.Н. Боголюбов атындағы теориялық физика лабораториясы, Біріккен ядролық зерттеулер институты, Дубна, Ресей.

Nurlan Kanat – PhD, researcher at Bogoliubovlaboratory of theoretical physics, Joint institute for nuclear research, Dubna, Russia

Нурлан Канат – PhD, научный сотрудник Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова, Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

Бас редакторы: К.Ш. Жумадилов
Компьютерде беттеген: Д. Нурушева

Авторларға арналған нұсқаулықтар,
жарияланым этикасы журнал сайтында берілген: <http://bulphysast.enu.kz>

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.
Физика. Астрономия сериясы.
2(147)/2024 – Астана: ЕҰУ. – 28 б.
Шартты б.т. – 3,5. Таралымы – 5 дана.
Басуға қол қойылды: 12.06.2024 ж.
Ашық қолданыстағы электронды нұсқа: <http://bulphysast.enu.kz>

Мазмұнына типография жауап бермейді

Редакция мекен-жайы: 010008, Қазақстан Республикасы Астана қ., Сәтбаев көшесі, 2.
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті Тел.: +7(71-72) 70-95-00 (ішкі 31-410)
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында басылды.