

ФИЗИКА

ЭОЖ 669.1;
МҒТАР 81.09.03

<https://doi.org/10.47526/2022-4/2524-0080.01>

Г.М. ӘБДІҚАДЫР¹, Н.А. ШЕКТИБАЕВ²

¹Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің магистранты
(Қазақстан, Түркістан қ.), e-mail: bakirova.1399@inbox.ru

²PhD, Қожа Ахмет Ясауи атындағы
Халықаралық қазақ-түрік университетінің аға оқытушысы
(Қазақстан, Түркістан қ.), e-mail: nurdaulet.shektibaev@ayu.edu.kz

Сu-Mn ЖҮЙЕСІНІҢ ЖОҒАРЫ ДЕМПФЕРЛЕНГЕН ҚОРЫТПАЛАРЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Қазіргі уақытта технологияның қарқынды дамуы, жылдамдықтың артуы және машиналар мен жабдықтардың қуаттылығы артып жатыр. Бұл зиянды шу мен дірілдің өсуіне әкеледі, бұл еңбек жағдайына теріс әсер етеді. Зиянды шу мен дірілді азайтудың жоғары тиімді әдістерінің бірі демпферлік материалдарды пайдалану болып табылады. Осы материалдар тобына марганец-мыс жүйесінің қорытпалары жатады. Кейбір жағдайларда бұл әдіс шуды азайтудың жалғыз мүмкін әдісі болып табылады. Сондықтан жаңа материалдарды әзірлеу және зерттеу, жаңа мүмкіндіктер бере отырып, оларды қолдану өзекті болып табылады.

Зерттеу барысында рентгенофлуоресцентті спектроскопия әдісі, қатты емес үйкеліс кезінде материалдың тозуға төзімділігін сынау, гомогенизациялау әдісі, микроқұрылымды зерттеу әдістері қолданылды.

Mn-Cu-Ni-Al жүйесінің төрттік қорытпаларында ыдырау процестерін бәсеңдететін никельдің әсерін никель мен алюминийдің 2:1 қатынасында алюминиймен теңестіруге болатыны анықталды. Ni-Al фазасының қалыптасуы қорытпаны одан әрі күшейте алатыны белгілі болды. Циркониймен легирленген қорытпаның тозуға төзімділігіне сынақтардың алынған нәтижелері, Mn-Cu негізіндегі жаңа қорытпаларды игеруде әрі қарай зерттеулер жүргізуге негіз берді.

Термоөңдеуден бұрын және кейін қорытпаның құрылымы зерттелді, химиялық құрамы анықталды, қаттылық пен микроқаттылық өлшенді, тозуға төзімділік коэффициенті анықталды. Нәтижелер құрылымдық материалдар саласындағы одан әрі даму бағытын анықтау үшін қолданылуы мүмкін.

Кілт сөздер: мыс, марганец, қорытпа, қорытпалар құрылымы, қорытпалар қасиеттері, демпферлік қабілеттілік, салыстырмалы тозуға төзімділік.

G.M. Abdikadyr¹, N.A. Shektibaev²

¹Master's Student of Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University
(Kazakhstan, Turkistan), e-mail: bakirova.1399@inbox.ru

²PhD, Senior Lecturer of Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University
(Kazakhstan, Turkistan), e-mail: nurdaulet.shektibaev@ayu.edu.kz

Investigation of the structure and properties of highly damped alloys of the Cu-Mn system

Abstract. Currently, there is a rapid development of technology, an increase in speed and an increase in the power of machinery and equipment. This leads to an increase in harmful noise and vibration, which negatively affects working conditions. One of the highly effective ways to reduce harmful noise and vibration is the use of damping materials. Alloys of the manganese-copper system belong to this group of materials. In some cases, this method is the only possible noise reduction method. Therefore, the development and study of new materials, the provision of new opportunities, their application is relevant.

In the course of the study, methods of X-ray fluorescence spectroscopy, tests for the wear resistance of the material under unsteady friction, the method of homogenization, methods of microstructure research were used.

It has been found that in quaternary alloys of the Mn-Cu-Ni-Al system, the effect of nickel slowing down the decomposition processes can be balanced with aluminum in a nickel-aluminum ratio of 2:1. It is known that the formation of the Ni-Al phase can further strengthen the alloy. The obtained results of tests on the wear resistance of the zirconium-doped alloy provided the basis for further research in the development of new Mn-Cu-based alloys.

Before and after heat treatment, the alloy structure was studied, the chemical composition was determined, hardness and microhardness were measured, and the coefficient of wear resistance was determined. The results can be used to determine the direction of further development in the field of structural materials.

Keywords: copper, manganese, alloy, structure and properties of alloys, damping ability, relative wear resistance.

Г.М. Әбдікадыр¹, Н.А. Шектибаев²

*¹магистрант Междунaродного казахско-түрецкогo университета
имени Ходжи Ахмеда Ясави*

(Казахстан, г. Туркестан), e-mail: bakirova.1399@inbox.ru

²PhD, старший преподаватель

*Междунaродного казахско-түрецкогo университета имени Ходжи Ахмеда Ясави
(Казахстан, г. Туркестан), e-mail: nurdaulet.shektibaev@ayu.edu.kz*

Исследование структуры и свойств высокодемпфированных сплавов системы Cu-Mn

Аннотация. В настоящее время происходит быстрое развитие технологий, увеличение скорости и увеличение мощности машин и оборудования. Это приводит к усилению вредного шума и вибрации, что негативно сказывается на условиях труда. Одним из высокоэффективных способов снижения вредного шума и вибрации является использование демпфирующих материалов. К этой группе материалов относятся сплавы марганцево-медной системы. В некоторых случаях этот метод является единственным возможным методом шумоподавления. Поэтому разработка и изучение новых материалов, предоставление новых возможностей, их применение является актуальным.

В ходе исследования использовались методы рентгенофлуоресцентной спектроскопии, испытания на износостойкость материала при нетвердом трении, метод гомогенизации, методы исследования микроструктуры.

Установлено, что в четвертичных сплавах системы Mn-Cu-Ni-Al влияние никеля, замедляющего процессы разложения, можно уравновесить с алюминием в соотношении никеля и алюминия 2:1. Известно, что образование фазы Ni-Al может еще больше укрепить сплав. Полученные результаты испытаний на износостойкость сплава, легированного цирконием, дали основание для дальнейших исследований в разработке новых сплавов на основе Mn-Cu.

До и после термообработки изучалась структура сплава, определялся химический состав, измерялись твердость и микротвердость, определялся коэффициент износостойкости. Результаты могут быть использованы для определения направления дальнейшего развития в области конструкционных материалов.

Ключевые слова: медь, марганец, сплав, структура и свойства сплавов, демпфирующая способность, относительная износостойкость.

Кіріспе

Қолданыстағыдан негізінде өзгеше техникалық тоқтам үшін, сапа жағынан жаңа бұрын соңды болмаған материалдарды жасап шығару. Мысал үшін электрлік және магниттік жүйедегі жаңа буын ойлап табу үшін жоғары температурадағы асқан өткізгіштікті қолдану, оптикалық компьютер үшін микрондық жартылай өткізгіштік лазерлер жасау тағы да басқа көптеген жаңа техниканың жетістігін пайдалану.

Бұл саланы дамыту үшін, машина мен механизмдердің шу мен зиянды тербелісімен күресуіне арналған материалдарды жасау және қолдануға ең көлемді түрде кірісу керек.

Қазіргі жағдайда бұл мәселені шешу үшін:

- Конструкциялық демпферлеу – шу мен зиянды тербеліс деңгейін төмендететін машина мен механизмнің арнайы конструкциясын жасау. Бірақ бұл әдіс конструкцияны аса күрделендіруге, бағасын жоғарылатуға, ең негізгісі, көп жағдайда проблеманы шеше алмайды.

- Материалдарды іріктеу арқылы демпферлеу – яғни конструкцияға таңбасы өзгеріп отыратын кернеу энергиясын жұтуға жоғарғы қасиеті бар, мысалы резина, пластик сияқты материалдарды ендіру және т.с.с. Өкінішке орай, бұл әдісті қолданудың шегі бар басқаша айтатын болсақ қолдану алабы өте кішкентай, себебі бұл көрсетілген материалдар керекті конструкциялық қатандыққа төзе алмайды.

- Пассивті демпферлеу – таңбасы өзгеріп отыратын кернеу энергиясын ішінде жұту деңгейі жоғары болатын жаңа конструкциялық материалдардан машиналар мен механизмдерді жасау. Айдан анық, бұл көзқарас өте перспективті себебі, пайда болған шу мен зиянды тербелістерден қорғануды қарастырмайды, шу мен зиянды тербелістерді шығармайтын, болдырмайтын машина мен механизмдерді жасап шығарады.

Жоғағы демпферлік қасиеті бар қорытпалар, конструкциялық қорытпалардың жаңа класы ретінде, қазіргі демпферлік қасиетті материалдардан принципіалды түрде айрмашылығы бар материалдарды жасау, құрал-саймандардың шулық және тербелістік сипатын жақсарту мақсатында традициялық конструкциялық материалдарды алмастыру үшін қолдануға болады

Жоғары демпферлік қасиеті бар қорытпалар көпшілікке арналған жаңа материал болғандықтан, жоғарғы демпферлік және механикалық қасиеттерінен басқа тағы екі шартқа ие болуы қажет.

- Қорытпалар жоғарғы технологиялық сипатты болуы және стандартты металлургиялық өңдеу әдісіне оңай көнуі керек – ковқаға, ыстық және суық прокатқаға, тағы басқа да металлургиялық өңдеуге келуі керек.

- Қорытпалардың құны жоғары болмау керек және бұл қорытпалардың негізі оңай қол жеткізетін металдардан болуы қажет.

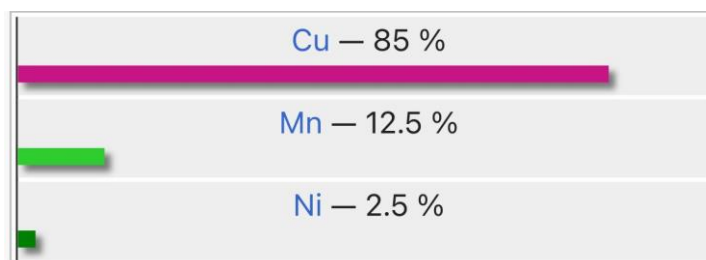
Қазіргі кездегі бар материалдарды сараптағаннан, жоғарыда айтылған шарттарға толық жауап бере алатын екі класты метал материалдары бар – олар магнитомеханикалық демпферлік қасиеті бар ЖДҚҚ-лар және мартенситтік өтімділігі бар қорытпа негізіндегі ЖДҚҚ-лар.

Жоғары демпферлік қасиеті бар қорытпалар ішінде заманауи конструкциялық материалдардың базасын құрауда ерекше орын алатыны, олар мартенситті класты қорытпалар.

Қазіргі уақытта марганец-мыс жүйесінің қорытпалары циклдік жүктеме жағдайында жұмыс істейтін құрылымдарды өндіруде сұранысқа ие. Марганец-мыс жүйесінің қорытпалары қасиеттерінің бірегей үйлесімі арқасында басқа қорытпалар арасында ерекше орын алады. Марганец-мыс қорытпалары басқа жүйелердің қорытпаларының арасында кездеспейтін өте құнды физикалық-механикалық қасиеттер жиынтығына ие, бұл олардың бірқатар салалар үшін маңызды техникалық маңыздылығын анықтайды. Олар деформациялардың шағын және маңызды амплитудаларында жоғары демпферлік қабілетімен сипатталады ($\psi = 7 - 10\%$ $\gamma = 1 \cdot (10 - 6 - 10 - 7)$; $\psi = 30 - 40\%$ кезінде $\gamma = 1 \cdot 10 - 3$), сондай-ақ жеткілікті беріктік ($\sigma_b \approx 350 - 500$ МПа) жақсы пластикалық ($\delta \approx 20 - 30\%$), жоғары электр кедергісі, төмен, ал кейбір қорытпалар үшін тіпті электр кедергісінің теріс температуралық коэффициенті, төмен жылу өткізгіштік және магнитті емес [1, 376.].

Марганец-мыс қорытпаларының сипаттамалары қорытпаның құрылымына, химиялық құрамына және өндіру технологиясына, сонымен қатар термиялық өңдеуге байланысты. Марганец құймалары айқын дендритті құрылыммен сипатталады, ол жер және инвестициялық құймаларда ірірек, ал салқындатылған құймаларда жұқа болады [2, 216.].

Манганин – марганец (11,5-13,5 %) және никель (2,5-3,5 %) қосылған мыс негізіндегі дәл қорытпа (шамамен 85%).



1-сурет – Манганин қоспасының құрамы

Қорытпаны ашушы туралы ғылым тарихшыларының ортақ пікірі жоқ.

Ағылшын тіліндегі әдебиеттерде манганинді алғаш рет американдық өнертапқыш Эдвард Вестон Германияда ойлап тапқан константан деп аталатын қорытпаның теріс ТКС-ін тапқан деп хабарлайды. Осы зерттеу негізінде манганин ойлап тапты. Қосулы химиялық құрам және резисторлардың кедергісі температураға тәуелді емес дәл электр өлшеу құралдарының резисторлары үшін материал ретінде өнертапқыш патент алды 1888 жылы патентте 70% мыс пен 30% марганецтен тұратын қорытпа сипатталған (оны төмендету үшін ферромарганецпен ауыстыру ұсынылады). Өнертапқыш оны «№3 қорытпа» деп атады, бірақ ол жаңа материалдан сым жасауға тапсырыс берген неміс өндірушілері оған өзінің «Манганин» атауын берді, оның астында ол кеңінен танымал болды.

Неміс тілді және отандық әдебиеттерде неміс ғалымдары мен өндірушілерінің қорытпасын ойлап табудағы басымдық туралы мәлімдеме басым. Осы нұсқа бойынша манганинді 1889 жылы немесе 1892 жылы Императорлық физика-техникалық институттың қызметкерлері Карл Фойзнер мен Стефан Линдек isabellenhütte heusler компаниясымен бірлесіп зерттеу жүргізген. Manganin® сауда маркасына құқықтар Isabellenhütte Heusler компаниясына берілді. Кейбір дереккөздер Фойзнер мен Линдектің өз жұмыстарында Вестонның нәтижелеріне сүйенгенін көрсетеді, бірақ көптеген дереккөздерде мұндай сілтемелер жоқ.

Ол өлшеу техникасында қосымша резисторлар мен шунттарды жасау үшін кеңінен қолданылады (электр өлшеу құралдарының бөлігі немесе тәуелсіз өнім түрінде). Электр кедергісі манганиннен жасалады, мысалы, қарсылық дүкендері.

Бұл қосымшаларда манганиннің константанға қарағанда айтарлықтай артықшылығы бар-манганин мыспен (1 мкВ/К аспайтын) жұпта өте аз термоэдске ие, сондықтан жоғары дәлдіктегі аспаптарда немесе өте аз кернеулерді өлшеуге арналған аспаптарда тек манганин қолданылады. Сонымен қатар, манганин, константаннан айырмашылығы, құрамында қышқылдар, аммиак булары бар атмосферадағы коррозияға қарсы тұрақсыз, сонымен қатар ауа ылғалдылығының өзгеруіне сезімтал.

Легірлеуші элементтер марганец-мыс күй диаграммасындағы тепе-теңдік сызықтарының жағдайына да, осы жүйенің қорытпаларын термиялық өңдеу кезіндегі фазалық түрленулердің кинетикасына да айтарлықтай әсер етеді [1, 88-б.].

Цирконий сирек кездесетін металл және алғаш рет 1824 жылы ғана оқшауланған. Сонда ғана ХХ ғасырда қоспасыз таза цирконий алу мүмкін болды. Цирконий коррозияға төзімділігі жоғары болғандықтан қара және түсті металлургияда легірлеуші элемент ретінде жиі қолданылады. Цирконийдің мыспен қорытпалары беріктігі мен электр өткізгіштігінің жоғарылауымен сипатталады.

Құрамында 2,5% Fe-ге дейінгі темірмен легирленген марганец-мыс қорытпалары дендритті құрылымды көрсетеді және жаңа құрылымдық өзгерістерді көрсетпейді [3, 523-б.].

Mn-Cu-Ni-Al жүйесінің төрттік қорытпаларында ыдырау процестерін бәсеңдететін никельдің әсерін никель мен алюминийдің 2:1 қатынасында алюминиймен теңестіруге болады. Ni-Al фазасының қалыптасуы қорытпаны одан әрі күшейте алады. Қатты ерітінділер түзбейтін элементтермен және марганец-мыс қорытпаларының негізгі компоненттерімен химиялық қосылыстармен легірлеу, матрицадағы құрылымдық өзгерістердің табиғаты мен кинетикасына әсер етпесе де, қорытпа құрылымының табиғатын айтарлықтай өзгертуі мүмкін [1, 91-б.].

Марганец-мыс жүйесінің үлкен практикалық маңызы бар, өйткені бұл жүйенің көптеген қорытпалары маңызды қасиеттерімен ерекшеленеді. Бұл жүйе бойынша шолу жұмысын Дин, Лонг, Гранхэм, Поттер және Хейс жүргізді [4].

Льюистің алғашқы жұмыстарында минимум ликвидус қисығында n , u ~50% Mn табылды; автор солидус сызығы шамамен 50-ден 80% Mn-ге дейін көлденең болады деп ұсынды. Вологдиннің айтуынша, құрамында 80% Mn бар қорытпаның ликвидациялық сызығы минимум емес, максимумға ие. Минимум, оның пікірінше, құрамында 90% Mn бар қорытпаға сәйкес келеді. Жемчужный, Уразов және Руковский дендритті сегрегацияны азайтумен айналыса отырып, ~30% Mn ликвидус қисығында минимумды тапты және бұрынғы зерттеушілерге қарағанда, солидус пен ликвидус арасындағы өте аз алшақтықты тапты. Замен Льюистің нәтижелеріне сәйкес келетін нәтижелерді жариялады. Ишивара 35 және 75% арасында эвтектикалық горизонталь болуын ұсынды. Бұл Льюис пен Ауыстыру деректеріне қайшы келмейді және оны кейінірек Брониевский мен Жаслан растады [5].

Марганец-мыс қорытпаларының қасиеттері негізінен АҚШ тау-кен комитетіндегі әріптестердің егжей-тегжейлі зерттеу нысаны болды және электрлік және механикалық қасиеттердің шектен тыс тәуелділіктері табылды [6].

Барлық келтірілген жұмыстарда қорытпаларды дайындау үшін қолданылатын марганецтің тазалығы төмен болды. Жоғары тазалықтағы қорытпаларды алғаш зерттеу Пирсонның жұмысы болды. Ол рентгендік дифракция әдісін пайдаланған.

Сонымен қатар, неміс компаниясы Isabellenhütte Heusler GmbH & Co.KG мыс пен марганец негізіндегі дәл Noventin қорытпасын жасады. Новентиннің меншікті кедергісі 90 МОм×см, ол Isaohm қорытпасының (133 МОм×см) және Манганин қорытпасының (43 МОм×см) меншікті кедергісінің мәндері арасында орналасқан. Нәтижесінде Noventin

қорытпасы төмен температураға тәуелділіктің кедергісін қамтамасыз ететін артықшылықтарға ие ($\pm 20 \text{ ppm/K}$ 20°C -тан 50°C -қа дейінгі температура диапазонында).

Бұл қорытпа ұзақ мерзімді тұрақтылыққа ие және мысқа қатысты термоздс мәні төмен ($\text{EMF} + 20^\circ\text{C}$ кезінде $\pm 0,3 \text{ мкВ/к}$ құрайды). Мысты байланыс материалы ретінде жиі қолданатындықтан, соңғы артықшылық ұзақ жолға түседі, өйткені ол температура айырмашылығынан болатын зақым токтарын болдырмайды. Мыс-марганец қорытпалары төмен балқу нүктелері, жоғары икемділік деңгейі, механикалық тұрақтылық және коррозияға төзімділік сияқты жақсы технологиялық қасиеттеріне байланысты көптеген жылдар бойы әртүрлі салаларда қолданылып келеді. 19 ғасырдың аяғында мыс пен марганец негізіндегі Isabellenhütte Heusler компаниясы жасаған Manganin қорытпасы осы уақытқа дейін жоғары дәлдіктегі қарсылықтар үшін ең танымал қорытпалардың бірі болып қала береді.

Isabellenhütte heusler GmbH компаниясы & Co.KG өзінің сынақ орталығында тұтынушылардың талаптарына сәйкес металл қорытпаларының кең ассортиментін шығарады. Компанияның сынақ орталығы тәжірибелік-конструкторлық жұмыстарды және әртүрлі әзірлемелерді орындау процестерінде, тәжірибелік үлгілер мен прототиптерде, сондай-ақ арнайы қолдану салаларында пайдалануға арналған аз мөлшерде қорытпалар жасауға арналған.

Компания мамандары салмағы 100 г-нан 25 кг-ға дейінгі партияларда қорытпалар шығаруға дайын. сынақ орталығында әртүрлі атмосферада немесе вакуумда балқу процестерін жүргізуге арналған жабдық бар. Сонымен қатар, бұл сынақ орталығы термиялық өндеудің кең спектрін және металл қорытпаларының әртүрлі қималы сыммен немесе таспамен үйлесімін қалыптастыру мүмкіндіктерін ұсынады. Тапсырыс берушінің өтініші бойынша компания материалдарды олардың электрлік, механикалық және металлургиялық сипаттамаларын ескере отырып профильдейді. Жоғары сапалы заманауи аналитикалық сынақ жабдықтарымен жабдықталған сынақ орталығының арқасында isabellenhütte heusler GmbH компаниясы & Co.KG түсті металл қорытпалары саласындағы жоғары деңгейлі сарапшы ретінде орналастырылған. Компанияның сонымен қатар EN17025 сәйкес Deutscher kalibrierdienst (DKD) неміс тексеру қызметімен аккредиттелген өзінің тексеру зертханасы бар.

Зерттеудің мақсаты: цирконий, никель, темір, алюминиймен легіріленген қорытпаның қасиеттерін зерттеу. Нәтижелерді әдеби деректермен салыстыру, құрамы мен термоөндеуіне байланысты құрылымы мен қасиеттерінің өзгеру заңдылықтарын зерттеу құрылымның жұмыс жағдайына байланысты пайдалану үшін жаңа қорытпалар жасау туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

- қорытпаның химиялық құрамын анықтау;
- қорытпаның микроқұрылымын зерттеу;
- қаттылық пен микроқаттылықты өлшеу; салыстырмалы тозуға төзімділігін анықтау.

Зерттеу әдістері

Қорытпа кристалының микроқұрылымын зерттеу әдісі:

Қарастырылып отырған жоғарғы демпферлік қасиеті бар қорытпалардың кристалдық және магниттік құрылымын кристалқұрылымдық анализді тікелей, нейтронографиялық, рентгенографиялық әдістермен зерттеп қорытпа құрылымдары туралы мәліметтерді алып, электронмикроскопиялық зерттеу толық қарастырылмаған. Сол бағытта жұмыс істеу үшін, қойылған мақсатымызға жету үшін микроструктуралық зерттеулерді электрондық микроскопта жүргізу керек. Сонымен қатар нейтронографиялық зерттеуде бірқатар кемшіліктер болады, ол ең алдымен, спектр интенсивтілігінің анықтау қасиетінің төмендігі, мен алғашқы нейтрон шоқтарының интенсивтілігінің аздығы болып келеді. Оның үстіне

фазалық құрамы мен жұқа кристалдық құрылымын әдеттегіше рентгенографиялық әдісті қолданады.

Осының бәрі жоғары демпферлік қасиеті бар қорытпалардың құрылымының қалыптасуы мен демпферлік қасиетінің арасындағы байланысты көрсетіп бере алмайды. Осы сияқты мақсатқа жету жолындағы мәселені шешу үшін, яғни демпферлік қорытпалардың проблемаларын шешу барысында мартенсит фазасының морфологиясын зерттеу керек, сонымен қатар деформацияға түскен құрылымның ерекшеліктерін зерттеу жарық өтетін электронды микроскопты қолдану әдісін пайдалануды қажет етеді. Бұл әдіс материалдың құрылымын көрнекі етіп демпферлік механизмді түсіндіруге тиынақты қорытынды жасап өз үлесін қосады.

Электронномикроскопиялық зерттеу әдісі:

Қорытпалардың жұқа микроқұрылымдарын зерттеу, сонымен қатар қорытпалардағы түрлі деформациялық, термомеханикалық және термиялық сыртқы, ішкі әсерлердің қорытпа қасиеттеріне тигізетін өзгерістерін жарықты өткізетін (просвечивающей) үдеткіш кернеуі 120 кВ болатын Tesla BS – 540 электронды микроскоппен жүргізіледі.

Демпферлік қасиетті өлшеу әдісі:

Қорытпалардың демпферлік қасиетін зерттеу, олардың тербелістерінің логарифмдік декрементін өлшей арқылы орындалады.

Зерттеу объектісі марганец-мыс қорытпасының үлгілері темірмен, алюминиймен легирленген. Химиялық құрамы EDX-900HS рентгендік флуоресцентті энергия-дисперсиялық спектрометр көмегімен анықталынды.

Микроқұрылым NEOPHOT-21 микроскопының көмегімен зерттелді. Үлгілер кесілген диаметрі 20 мм, биіктігі 12 мм дайындамаларды. Содан кейін үлгілердің кесінділері механикалық тегістеу, содан кейін жылтырату арқылы жасалды. Жылтырату тегіс айна бетін жасау процесінің соңғы кезеңі болды. Мұндай бетті алу металлографиялық талдау жүргізудің қажетті шарты болып табылады.

Жіңішке кесінділерді жасаудың соңғы кезеңі химиялық ойып алу болды. Ол құрылым анықталғанша үлгіні реагентпен сұрту арқылы жүргізілді. Кейін ойып алынғаннан кейін үлгі ағынды сумен, содан кейін спиртке жуылады және кептіріледі [7, 152-б.].

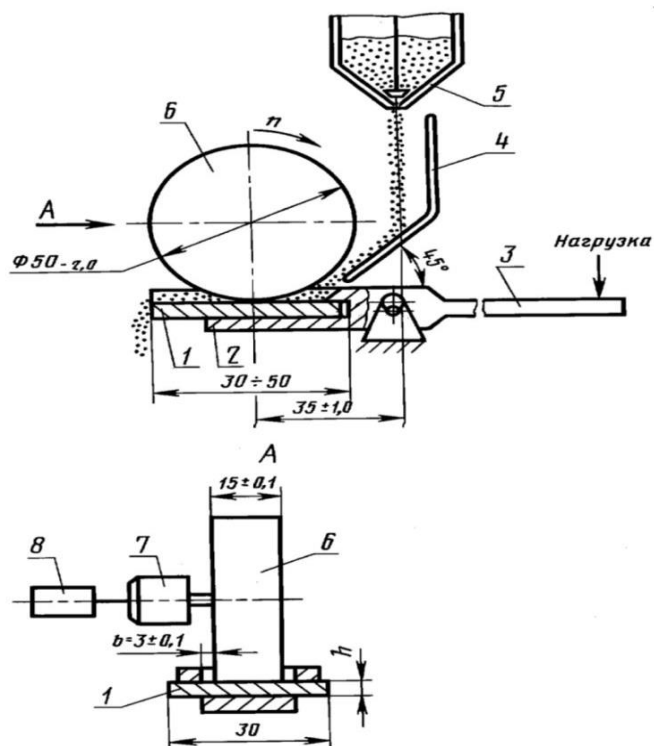
Дендриттердің гетерогенділігін жою және қасиеттерін жақсарту үшін жоғары температурада гомогенизациялау жасыту қолданылды.

Тозуға төзімділік сынақтары ГОСТ 23.208-79 «Әдіс борпылдақ бекітілген абразивті бөлшектерге қарсы үйкеліс кезінде материалдың тозуға төзімділігін сынау» [8].

Сынақтар сынақ үлгісіне қарсы басылған резеңке роликтің көлденең осі айналасында айналуы қамтамасыз ететін 2-суретте көрсетілген қондырғыда жүргізілді. Абразивті материал ролик пен үлгі арасында үздіксіз беріледі. Тозуға төзімділік көрсеткіші сыналғанға дейін және одан кейін үлгіні өлшеу, зерттелетін үлгі мен эталонның салмақ жоғалтуының орташа арифметикалық мәнін анықтау нәтижелері бойынша жасалады.

Құрамында марганеці жоғары марганец-мыс қорытпаларының ерекше демпферлік қабілеті бар, оны Дин, Поттер, Губер және Лукенс зерттеген.

Демпферлік қабілеттілік максималды деформация кезінде үлгідегі серпімділік энергиясына деформация (тербеліс) цикліндегі энергия тұрақтысының қатынасы (пайызбен) арқылы көрсетіледі. Сөндірілген күйде марганец құрамында ~75% дейін демпферлік қабілеттілік төмен болады, содан кейін айтарлықтай артады. Пешпен суытылатын қорытпаларда демпферлік қабілеттілік 40% Mn дейін өсе бастайды, содан кейін құрамына қарамастан өзгереді, бірақ содан кейін ~80% Mn құрамында максималды мәнге (17,5%) ие болады [9].



2-сурет – Орнату схемасы: 1 – үлгі; 2 – үлгі ұстаушы; 3 – рычаг; 4 – бағыттаушы науа; 5 – мөлшерлеуші құрылғы; 6 – резеңке ролик; 7 – жетек

Тербелісті тудыратын бастапқы қолданылған орташа кернеу артқан сайын демпферлік сыйымдылық айтарлықтай артты. Қолданылатын жүктеме артқан сайын демпферлік сыйымдылық айтарлықтай артады; 7,03 кг/мм² кезінде максималды мән 260%-дан айтарлықтай жоғары болады, бұл әдетте кез келген басқа материал үшін байқалатын мәндерден әлдеқайда жоғары: металл және металл емес [10].

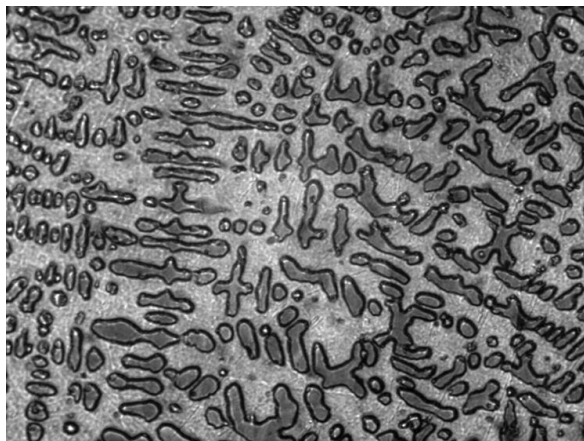
Талдау мен нәтижелер

Химиялық құрамын анықтау нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

1-кесте – Зерттелетін үлгінің химиялық құрамы

№	Қорытпа	Элементтер құрамы								
		Cu	Mn	Fe	Si	S	Zr	Cr	Al	Ni
1	Г61Д27Н2Ж2ЮЦр	27.40	61.37	1.63	0.03	0.06	0.5	0.18	0.9	2.21

Зерттеу барысында 3 – 4 суретте көрсетілген құрылымдар анықталды.



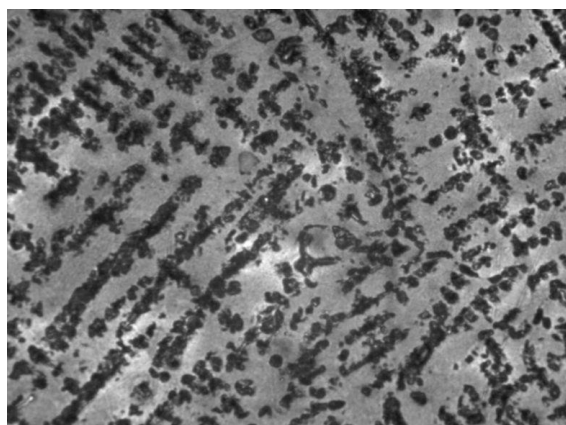
3-сурет – G61D27N2Zh2YuTsr қорытпасының жылтыратудан және оюдан кейінгі микроқұрылымы, x250

Тепе-теңдік диаграммасына сәйкес құрамында марганец-мыс қорытпасының құрылымы 75% марганец және 25% мыс, бөлме температурасында торы бар γ -қатты ерітіндіден тұрады. ГЦК және α -марганец. Алайда марганец-мыс қорытпаларында диффузиялық фазалық түрлендірулердің өте баяу жүруіне байланысты нақты құйма қорытпаларының құрылымы тепе-теңдік күйінен айтарлықтай ерекшеленеді.

G61D27N2Zh2YuTsr қорытпасының құрылымы байытылған марганецпен дендритті (85-90%) қараңғы аймақтар және марганец азайған (55-60%) ашық аймақтар. Жаңа құрылымдық өзгерістер анықталған жоқ. Бұл тұжырымдар әдебиет деректеріне ұқсас.

840°C күйдірілгеннен кейінгі металлографиялық талдау нәтижелері 3-суретте көрсетілген.

Ұсынылған микроқұрылымдарды талдау диффузиялық процестердің жүретінін көрсетеді. Гомогенизация кезінде қорытпа өте баяу. Дендриттер айқын шекаралары аз бола бастады, бірақ толығымен жойылған жоқ.



4-сурет – G61D27N2Zh2YuTsr қорытпасының микроқұрылымы термиялық өңдеуден, жылтыратудан және оюдан кейін, x250

Қорытпаның дендритті біртекті еместік дәрежесін айырмашылықпен де анықтауға болады дендрит және интердендриттер бөлімдерінің микроқаттылық мәндері. Не деп болжауға болады микроқаттылық шамасының айырмашылығы неғұрлым аз болса, қорытпаның химиялық біртектілігі соғұрлым жоғары болады. Сонымен, микроқаттылықты

өлшеу әдісі гомогенизацияны жасыту нәтижелерін жылдам бақылау үшін қолданылуы мүмкін.

Құрылымның ашық және қараңғы бөліктерінің микроқаттылығын өлшеу жоғарырақ көрсетті марганецпен байытылған компоненттің қаттылығы (жұқа кесіндідегі қараңғы жерлер).

Құйма қорытпасының құрылымының осы бөлімдерінің микроқаттылығын өлшеу (металл қалыпқа құю, содан кейін соғу 700-800 °С температурада және жоғарыда көрсетілген режим бойынша күйдіру) 2 және 3-кестелерде келтірілген.

2-кесте – Қаттылықты тексеру нәтижелері

	HRB	HV
Г61Д27Н2Ж2ЮЦр	95	226

3-кесте – G61D27N2Zh2YuTsr үлгісінің микроқаттылығын өлшеу нәтижелері

	HV (кг/мм2) дендриттер аралық аймақтар (жарық аймақтар)	HV(кг/мм2) дендриттер (қараңғы аймақтар)
Г61Д27Н2Ж2ЮЦр	107-110	141-152

Тозуға төзімділікке сынау кезінде сынауға дейінгі және 10 минуттан кейінгі үлгі массасының өзгеруі 4-кестеде келтірілген.

4-кесте – Салыстырмалы тозуға төзімділік (К_и)

Үлгі нөмірі	Марка	Үлгілердің салмақ жоғалтуы, г	Салыстырмалы тозуға төзімділік, К_и
Анықтама	Болат 45 (91 HRB)	0,015	-
Үлгі	Г61Д23Ж1,6Ю3,3Н2,2Ц3	0,008	1,95

Салыстырмалы тозуға төзімділікті есептеу мына формула бойынша жүргізілді:

$$\bar{g}_э = \frac{\sum_{i=1}^3 g_{эi}}{3}; \quad \bar{g}_и = \frac{\sum_{i=1}^m g_{иi}}{m},$$

Мұндағы $g_э, g_и$ – зерттелетін эталондық үлгілер мен үлгілерді сынау кезіндегі массалық жоғалтудың мәні, г; m – зерттелетін материалдың үлгілерінің саны [11].

Салыстырмалы тозуға төзімділік мына формула бойынша есептелді:

$$K_и = \frac{\bar{g}_э \rho_и N_и}{\bar{g}_и \rho_э N_э},$$

мұндағы $\rho_и$ және $\rho_э$ сыналатын және эталондық үлгінің тығыздығы;

Нәтижесінде салыстырмалы тозуға төзімділік коэффициенті:
 $K_{из}=(0,015 \cdot 7,7)/0,008 \cdot 7,4=1,95$

Қорытынды

Төменгі температурада қыздырылған марганецтің үлесі төмен Mn-Cu қорытпалар жүйесінің құрылымын зерттеу жарық өтетін электронды микроскоп әдісімен жасалады.

Төменгі температурада, яғни 4000-4500°С-де қыздырылған қорытпаларда марганецпен байытылған және марганецпен кемітілген концентрациялық ыдыраған ГЦК фаза болатындығын көрсетеді. Бұл қорытпаларда метастабильді тепетеңдік жағдайында екі фазалық құрылым ГЦК + ГЦТ қалыптасады ал орташа тор кубтық симетрияны сақтайды.

Сонымен қатар айта кететін жағдай, марганецтің үлесі аз қорытпаларда жоғары демпферлік қасиеті бар құрылым күйі марганецтің үлесі жоғары қорытпаларға сипатты демпферлік қасиеті бар құрылым күйінен айырмашылығы үлкен болады. Екі фазалы микроқұрылымда серпімді кернеу деңгейі төмендеу болады, бірақ олар стабилді болып келеді. Осыған байланысты марганецтің көлемдік үлесі төмен қорытпаларда марганецпен көлемдік үлесі жоғары қорытпаларға қарағанда демпферлік қасиеттің уақытқа байланысты тұрақтылығы үлкен болады, бөлме температурасында бір жылдық сақталу кезінде бұл қорытпаларда демпферлік қасиет жоғалмайды.

Бұл жұмыста жоғары демпферлік қабілеті бар қорытпаларды жасау мәселесі шешілді және олардың ұзақ қызмет ету мерзімі нәтижесінде төзімділігі, марганец-мыс жүйесі негізіндегі құймалардың құрылымы, амплитудаға тәуелсіз және амплитудаға тәуелді демпферлік диапазондардағы демпферлік қабілеті, мартенситті және магниттік фазалық түрлену температуралары, механикалық қасиеттері зерттелді.

Марганец-мыс қорытпасының құрылымын қалыптастырудың жалпы заңдылықтары белгіленді, әртүрлі құю әдістерінен және термиялық өңдеу режимдерінен кейін циркониймен легирленген. G61D27N2Zh2YuTsr қорытпасының құрылымы дендритті, жаңа фазалар анықталған жоқ; цирконийдің әсері өзгертуші сипатта болды.

Жалпы алғанда, зерттеу марганец-мыс жүйесінің демпферлік қорытпаларының физикалық-механикалық қасиеттеріне легірлеудің әсерін талдауға мүмкіндік берді.

Нәтижелер құрылымдық материалдар саласындағы одан әрі даму бағытын анықтау үшін қолданылуы мүмкін.

Циркониймен легирленген қорытпаның тозуға төзімділігіне сынақтардың алынған нәтижелері Mn-Cu негізіндегі жаңа қорытпаларды игеруде әрі қарай зерттеулер жүргізуге негіз береді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Фавстов Ю.К. *Металловедение высокодемпфирующих сплавов.* / Ю.Н. Шульга, А.Г. Рахштадт. – М.: *Металлургия*, 1980. – 272 с.
2. Рахштадт А.Г., Фавстов Ю.К., Кочеткова Л.П. Структурные превращения в марганцевомедных сплавах с высокой демпфирующей способностью. // *Киров. МиТОМ.* – 2019. – №2. – С. 19–23.
3. Лисовская О.Б., Терехихина И.Н. Структура и свойства сплавов высокого демпфирования системы марганец–медь. // *Общество, наука, инновации: Киров.* – 2018. – С. 517–524.
4. Блантер М.С., Головин И.С., Головин С.А. и др. *Механическая спектроскопия металлических материалов.* – М.: *Издательство Международной инженерной академии*, 1994. – 254 с.
5. Блантер М.С. *Метод внутреннего трения в металлургических исследованиях.* – М.: *Металлургия*, 2017. – 248 с.
6. Постников В.С. *Внутреннее трение в металлах.* – М.: *Металлургия*, 1974. – 352 с.
7. Панченко Е.В. *Лаборатория металлографии.* – М.: *Металлургия*, 1965. – 251 с.
8. ГОСТ 23.208-79. *Методика испытаний материала на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы.* – М.: *Стандартинформ*, 2019.
9. Фавстов Ю.К., Шульга Ю.Н. *Сплавы с высокими демпфирующими свойствами.* – М.: *Металлургия*, 2019. – 256 с.

10. Суворов Г.А., Старожук И.А., Цетлина Г.С., Лагутина А.В. Прогностическая оценка и риск развития вибрационной патологии от воздействия общей вибрации. // Медицина труда и промышленная экология. – 1996. – №12. – С. 1–10.
11. Вейнер Д., Цейтлин А.И. Вибрационные повреждения в промышленности и строительстве. Шведский Совет по исследованиям в промышленности и строительстве, научно-технический центр «Защита сооружений» Инженерной Академии России, Москва-Стокгольм, 2018. – 338 с.

REFERENCES

1. Favstov Yu.K. Metallovedenie vysokodempfiruyushchih splavov [Metallogogy of high-damping alloys]. / Y.N. Shulga, A.G. Ruhstadt. – M.: Metallurgia, 1980. – 272 s. [in Russian].
2. Ruhstadt A.G., Favstov Yu.K., Kochetkova L.P. Strukturnye prevrashcheniya v margancevomedyh splavah s vysokoy dempфирuyushchej sposobnost'yu. [Structural transformations in manganese-copper alloys with high damping ability] // Kirov. MiTOM. – Mitom. – 2019. – No.2. – s. 19–23. [in Russian]
3. Lisovskaya O.B., Terebihina I.N. Struktura i svojstva splavov vysokogo dempфированиya sistemy marganec–med [Structure and properties of high damping alloys of the manganese–copper system]. // Obshchestvo, nauka, innovacii. Kirov. 2018. – 517–524 s. [in Russian]
4. Blanter M.S., Golovin I.S., Golovin S.A. and other. Mechanical spectroscopy of metallic materials [Структура и свойства высокодемпфирующих сплавов системы марганец–медь]. M.: Publishing house of the International Engineering Academy, 1994.–254 s. [in Russian].
5. Blanter M.S. Metod vnutrennego treniya v metallovedcheskih issledovaniyah [Method of internal friction in metal studies]. M.: Metallurgy. 2017. 248 s. [in Russian].
6. V.S. Postnikov, Internal friction in metals. [Internal friction in metals] M.: Metallurgy, 1974. – 352 s. [in Russian].
7. Panchenko E.V. Laboratoriya metallografii [Metallography laboratory]. M.: Metallurgy. 1965. – 251 s. [in Russian].
8. GOST 23.208-79. Metodika ispytaniy materiala na iznosostojkost' pri trenii o nezhestko zakreplennye abrazivnye chasticy [Method of testing the material for wear resistance when rubbing against non-rigid abrasive particles]. M.: Standartinform. 2019. [in Russian].
9. Favstov Yu.K., Shulga Yu.N. Splavy s vysokimi dempфирuyushimi svojstvami [Alloys with high damping properties]. M.: Metallurgy, 2019. - 256 s. [in Russian]
10. Suvorov G.A., Starozhuk I.A., Tsetlina G.S., Lagutina A.V. Prognosticheskaya ocenka i risk razvitiya vibracionnoj patologii ot vozdejstviya obshej vibracii [Prognostic assessment and risk of development of vibration pathology from exposure to general vibration] // Occupational Medicine and Industrial Ecology. 1996. –№12 –1–10 s. [in Russian].
11. Weiner D., Zeitlin A.I. Vibracionnye povrezhdeniya v promyshlennosti i stroitelstve [Vibration damage in industry and construction]. // Swedish Council for Research in Industry and Construction, Scientific and Technical Center "Protection of Structures" of the Engineering Academy of Russia, Moscow–Stockholm–2018. – 338 s. [in Russian].