

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2025)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/GMYR4462>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Шокубаева З. Ж.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/AYOC8161>

**М. С. Канапинов¹, *А. Т. Байдилдина², Г. С. Дуйсембаева³,
А. Ш. Агажанов⁴, Д. А. Самошкин⁵**

^{1,2,3}Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.;

⁴Новосібір мемлекеттік университеті, Ресей Федерациясы, Новосібір қ.;

⁵С. С. Кутателадзе атындағы Жылуфизика институты,
Ресей Федерациясы, Новосібір қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6249-2373>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3793-5817>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5059-8223>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0461-7211>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7074-7762>

*e-mail: azhaparova@edu.ektu.kz

INCONEL 617 ҚОРЫТПАСЫНЫҢ ЖЫЛУӨТКІЗГІШТІГІН ЖӘНЕ ТЕМПЕРАТУРА ӨТКІЗГІШТІГІН ЗЕРТТЕУ

Мақалада зерттеу жұмыстарында келешегі бар және ең тиімді қорытпалардың бірі Inconel 617 қорытпасы қарастырылған. Яғни, оның құрылымдық-химиялық құрамында хром, никель, кобальт, молибден бар. Мұндай құрамнан тұратын қорытпа агрессивті ортада материалға жоғары температурада ыстыққа төзімділік қасиет бере алады. Қорытпаның көптеген физика-механикалық қасиеттері зерттелгенімен, жұмыс процесінде және металдың кеңеюіне әсер етудегі маңызды сипаттамаларының бірі болып табылатын температура өткізгіштік және жылу өткізгіштік қасиеті зерттелмеген, сол себептен берілген зерттеу жұмысы өзекті болып табылады. Өлшеу жұмыстары LFA-427 қондырғысында лазерлік жарқыл әдісімен 300 ден 1475 K дейінгі температура диапазонында зертханалық қондырғылар көмегімен жүргізілді. Алынған мәліметтер температура өткізгіштігі үшін температураның 2-4 % пен 3-5 % қателіктері бойынша бағаланды. Зерттеулер негізінде материалдың қасиеттерінің температураға тәуелділігіне жуықтайтын теңдеулер алынды және анықтамалық

мәндер бойынша кесте құрастырылды. Бұл кесте әр түрлі мәселелерді шешуде және әр түрлі инженерлік зерттеулер мен ғылыми талдауларда қолдануға қажет болатын анықтамалық мәндер болып табылады. Мақалада өндірістік жылуалмастырғыш қондырғылар жоғары критикалық параметрлерде және агрессивті ортада жұмыс істегендіктен қондырғыға тұтастай әсер ететіні дәлелденген.

Кілтті сөздер: Inconel 617 қорытпасы, температураөткізгіштік, жылуөткізгіштік, лазерлік жарқыл әдісі, жылу энергетика.

Кіріспе

Қазіргі уақытта агрессивті ортада жұмыс істеуге жарамды, жоғары температуралы ортада ыстыққа төзімді және беріктік қасиеті жоғары, сонымен қатар тот басу процестеріне төзімділігі бар болатын қорытпаларға сұраныс артып отыр. Осындай материалдардың бірі Inconel 617 қорытпасы, композицияның құрамында хром, никель, кобальт, молибден бар. Яғни, бұл материалдың құрылымдық бөлігінен бастап жабдықтың негізгі элементіне дейін өнеркәсіптің әртүрлі салаларында қонданысқа енгізуге мүмкіндік туғызады.

Алайда, әдебиеттік шолу жасай отырып зерттеу жұмыстарын жүргізгенде, жылуөткізгіштік пен температураөткізгіштігін өлшеуге арналған бірнеше эксперименттік жұмыстардың ұсынылғанын ескеру қажет. Ол жұмыстардың нәтижелері жоғары температурада бір-бірінен ерекшеленеді, жалпы өлшеу қателіктерінен асып түсетінін байқауға болады.

Сондықтан берілген жұмысты зерттеудің маңыздылығы дәлелденген болып табылады, өйткені никель қорытпаларының біршамасы құйманың микроқұрылымына және құрылымына байланысты болады. Ал ол жоғары критикалық қысым мен температуралы агрессивті ортада қолданған кезде жылуөткізгіштікке және жылу диффузиясына әсер етеді. Сонымен қатар келесі жайтты ескеру қажет, басқа ғалымдардың зерттеу жұмыстарында жоғары температурада қорытпа қорының ескіруі кезінде жылуфизикалық қасиеттері өзгеріссіз қалған. Жоғарыда сипатталған негіздемені ала отыра, жылуөткізгіштік пен температураөткізгіштік соңына дейін зерттелмегенін белгілі. Сондықтан, зерттеудің мақсаты 1475 К дейінгі жоғары температурада қорытпаның жылуфизикалық қасиетін зерттеу болып табылады. Яғни, өндірістік жылуалмастырғыш қондырғылар жоғары критикалық параметрлерде және агрессивті ортада жұмыс істегендіктен қондырғыға тұтастай әсер етеді.

Материалдар мен әдістері

Ұсынылған жұмыста қорытпаның температуралық өткізгіштігін өлшеу лазерлік жарқыл әдісі арқылы [1], NETZSCH фирмасының LFA-427 бірегей эксперименттік стендіне жүргізілді. Үлгінің диаметрі 12,6 мм және

қалыңдығы 2,4 мм цилиндр тәрізді, ұштары жазық параллель тегістелген. Тәжірибелер 300–1475 К температура аралығында статикалық инертті атмосферада (Ar 99,992 айн. %) жүргізілді. Өлшеу процессінде үлгінің төменгі беті Nd: YAG лазерінен қысқа лазерлік импульспен (1,064 мкм) ұзындығы 0,8 мс, энергиясы 10 Дж дейін сәулеленеді. Жоғарғы бет температурасының өзгеруі сұйық азотпен салқындатылған ИК детекторымен тіркеліп жазылады. Температураөткізгіштік а шамасы жұмыста келтірілген есептеу моделі бойынша сәулелену түріндегі жылу шығынын ескере отырып, үлгінің жоғарғы бетін қыздырудан алынған термограммасы бойынша анықталды [2]. Лазерлік импульстің соңғы ұзақтығына және оның нақты формасына түзету енгізілді [3]. Inconel 617 үшін жылу кеңеюін есепке алу үшін салыстырмалы ұзарту мәндері ϵ [4]. Берілген температурада а-ның өлшеу лазердің бірнеше «ату» сериясында үлгіні термостаттаудан кейін жүзеге асырылады. а анықтамасының жалпы қателігі 300 К кезінде 2 % және 1500 К кезінде 4 % құрайды, яғни жоғары таза мыс пен молибденнен жасалған стандартты қатты үлгілерді қолдана отырып өлшеу нәтижелері анықталды.

Қорытпаның жылу өткізгіштігі λ келесі формула бойынша есептелді

$$\lambda = \alpha \cdot \rho \cdot c_p \quad (1)$$

мұндағы ρ – тығыздық, c_p – меншікті массалық жылу сыйымдылығы. Берілген температурадағы $\rho(T)$ мәні бөлме температурасындағы қорытпа тығыздығының ρ_0 мәні арқылы болды және әдеби деректерді қолдану $\epsilon(T)$ [4] арақатынасы бойынша

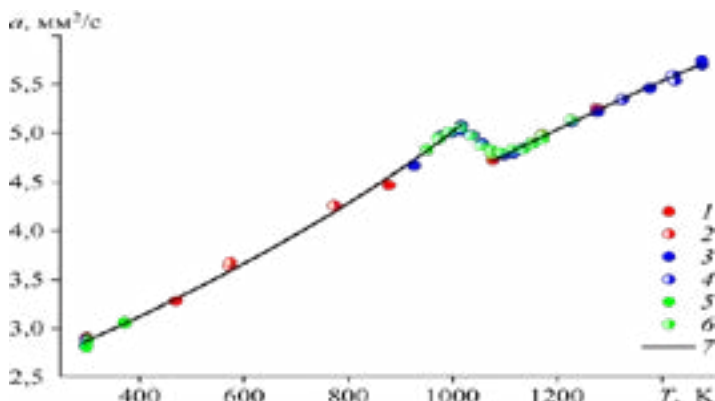
$$\rho(T) = \frac{\rho_0}{(1 + \epsilon(T))}. \quad (2)$$

ρ_0 шамасы Inconel 617 үлгісінің массасы мен геометриялық өлшемдерін өлшеу нәтижелері бойынша 0,5 %-дан аспайтын қателікпен анықталды және $\rho_0 = 8,262 \text{ г/см}^3$ бағаны құрады. c_p бойынша деректер [1] алынған, онда қорытпаның жылу сыйымдылығы 2–4 % белгісіздігі бар дифференциалды сканерлеу калориметриясы әдісімен өлшенді. ρ және c_p белгісіздіктерін ескере отырып, есептелген мәндердің қателігі λ температураға байланысты 3–5%-ға бағаланады.

Нәтижелер және талқылау

Inconel 617 қорытпасының температураөткізгіштігін өлшеу бойынша эксперименталды зерттеу өткізу барысында лазерлік жарқыл әдісі арқылы зерттеудің қортындысы алынды. Үш тізбекті 300–1475 К температура

интервалында қыздыру-салқындату термиялық циклы арқылы алынған зерттеу қорытындысы 1 суретте көрсетілген.



1-сурет – Inconel 617 қортпасының температураөткізгіштігі. Қыздыру және салқындату бойынша алынған мәліметтер бірінші (1,2), екінші (3,4)және үшінші (5,6) эксперименттерде; 7- 3 және 4 теңдеулер бойынша аппроксимация.

Бірінші суретте зерттеу қортындысы бойынша температураға тәуелді температураөткізгіштіктің үш эксперименттік графигі берілген. Тәуелділік эксперименттерін жүргізу барысында графиктен 1015–1076 K интервалында қисықтың сынуы байқалады, ол қорытпа материалын алуда фазалық өзгерістердің әсер етуін куәландырады. Inconel 617 [5] қорытпасына әдебиеттік шолу және термиялық анализ жүргізуге әсер еткенде, келесі гипотезаны ұсынуға болады. Фазалық өзгеру процессінде берілген анамалыя температура бойынша M23C6, мұнда Cr, Fe немесе Mo түрінде корбидті өзгерту процесіне сәйкес келеді. Inconel 718 [6] қорытпасында температураөткізгіштік қисығында өзгерістердің байқалуы тіркелді. Сондықтан нақты деректерді алу үшін ең кіші квадраттар әдісімен салыстырмалы математикалық анализ жүргізу керек деп шешілді. Деректерді жуықтау осылайша сандық сипаттамаларды зерттеу және алынған мәліметтердің сапалы қасиеттерін қарастыруға негізделген.

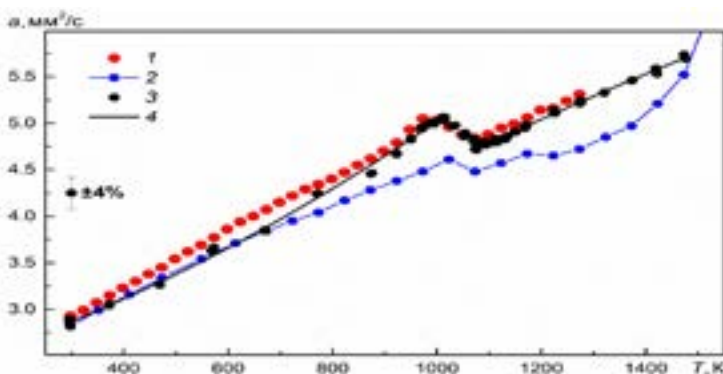
Мәндерді өлшеу бойынша деректерді жуықтау бізге келесі өрнектерді ұсынды:

$$\alpha(T) = 2,280 + 1,642 \cdot 10^{-3}T + 1,1 \cdot 10^{-6}T^2, \quad 300 \leq T \leq 1015 \text{ K}, \quad (3)$$

$$\alpha(T) = 1,358 + 3,610 \cdot 10^{-3}T - 4,5 \cdot 10^{-7}T^2, \quad 1076 \leq T \leq 1475 \text{ K} \quad (4)$$

мұндағы α өлшем бірлігі мм²/с. Жүргізілген есептеулер барысында эксперименттік нүктелердің өрнектен орта квадраттық ауытқуы 1,1 және 0,4 % пайыздан артатыны белгілі болды.

Осылайша, алынған зерттеулер температураөткізгіштіктің өзгеруі көрсетілген фазалық түрлендіру аймағынан тыс орналысқанын жылуөткізгіштік бойынша эксперименттер көрсетті.



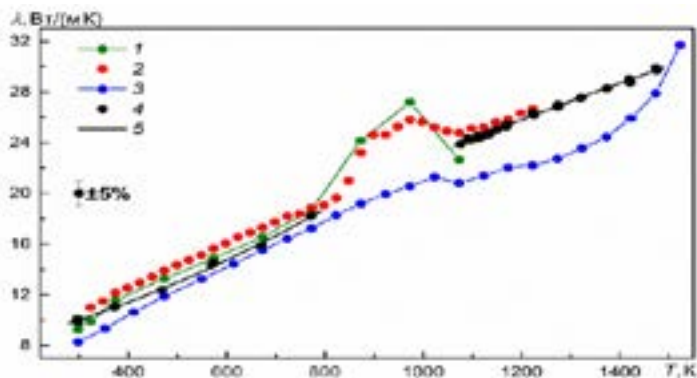
2-сурет – Inconel 617 қорпасының температураөткізгіштігі.

[2] (1), [3] (2) жұмыстарының және осы зерттеудің мәндері (3), 4 – 3 және 4 теңдеулер бойынша аппроксимация.

Екінші суретте температураөткізгіштік (α) бойынша жүргізілген зерттеулер мен әдебиеттік шолу [5; 7] нәтижелер бойынша салыстыру берілген. Әдебиеттік шолудағы зерттеу жұмыстарында біздің зерттеген жұмыстағы сияқты лазерлік жарқыл әдісі арқылы температураөткізгіштікті өлшеу жұмыстары жүргізілген. Эксперименттерді [7] жүргізу барысында төрт қорытпа зерттелді. Ол қорытпалардың құрамдары және термиялық өңделуі әр түрлі. Бұл ретте температураөткізгіштік бойынша деректер барлық төрт үлгі үшін 1273 К дейін барлық зерттелген интервалда 3 % аралығында жүргізілген.

Графикте салыстыру жұмыстары үшін [7] нәтижесі ретінде, дәнекерлеу сымынан металды балқыту жолымен өндірілген үлгі алынып отыр. Келесі [5] жұмыста Inconel 617 үлгісі алдын ала 1473 К температурада сумен қатайтылды. Одан кейін қорытпа құрылымында әр түрлі ұсақ дисперсті фазалар қалыптастыру мақсатында 973 К температурада 1000 сағат аралығында жоғары таза аргон ағынында көнеюге ұшырады. Ал осы жұмыста зерттеліп отырған қорытпа аргонның статикалық атмосферасында 1273

к дейін температурада бірінші қыздыру аралығында күйдірілді (1 сурет). Графикта көрсетілгендей (2 сурет) авторлардың алған нәтижелері барлық өлшеу интервалында және өлшеу қателік шегінде [7] жұмыс деректерімен келісілген. Алайда, [5] жұмыстың деректерімен салыстыратын болса 900 К температура интервалында ғана жақсы сәйкестік бақылай аламыз. Бұл температура мәнінен жоғары мән [5] зерттеуінен берілген және осы қазіргі зерттеліп отырған жұмыс нүктесінен айтарлықтай төмен жатыр. Ал [5] – дегі $\alpha(T)$ қисығы неғұрлым күрделі мінезге ие екенін байқай аламыз. Авторлардың алған тәуелділігінен және [7] деректерінен 1015–1076 К интервалында тек бір елеулі үзіліс (сынық) байқалады. Ал [5] жұмыста $\alpha(T)$ қисығында 1073 және 1223 К кезінде екі кіші үзіліске (сынық) ие, олар [5] сәйкес реттелген фазалардың $M23C6$ және $Ni_3(Al, Ti)$ ерігіштігіне байланысты. Бұл фазалардың ерігіштігі [5] авторларының ойы бойынша матрицалық фазада тәртіпсіздік туғызатынын алға тартады. Ал бұл температура жоғарылауымен атомдарының қозғалысын төмендетеді. Сәйкесінше, температуралық тәуелділіктерден $\alpha(T)$ үзіліс (сынық) түрінде байқалады.



3-сурет – Inconel 617 қорпасының температураөткізгіштігі.

[8] (1), [7] (2), [5] (3) жұмыстарының және осы зерттеудің мәндері (4), 5 – 5 және 6 теңдеулер бойынша аппроксимация.

Үшінші суретте (1) формула және [5; 6; 7; 8] әдебиеттік шолу бойынша Inconel 617 жылуөткізгіштік есебінің нәтижесі берілген. Осы жұмыста (λ) жылуөткізгіштік есебі үшін қолданылатын (12) жұмыстан алынған жылу сыйымдылығының температуралық тәуелділігінде, 790 – 900 К температуралық интервал аралығында жоғары қарай кенет өзгеруі байқалатынын атап айтқан жөн. Ол фазалық өзгеріске байланысты болды.

Қорытпаның жылуsыйымдылық шамасы [9] жұмыста бұл тақырып бойынша анықталмаған, өйткені өлшеніп отырған ср, өзін фазалардың өзіндік жылу сыйымдылығы және фазалық өзгеріс жылуы ретінде шағылыстырды. Сондықтан берілген жұмыста жылуөткізгіштік шамасы тек 790 К дейін және 1076 К кейінгі температуралық интервалында ғана анықталды. Онда температуралық тәуелділіктер $a(T)$ және $sr(T)$ тұрақты, монотонды өзгерді.

Үшінші суреттегі графиктен 800 К температура аумағында берілген жұмыстың нәтижесі жылуөткізгіштікті анықтаудың жиынтық қателіктері шегінде барлық әдебиеттік мәліметтерге [7; 8] сәйкес келеді. Ал жылуөткізгіштіктің (λ) аномальді өзгеру аймағынан жоғары болғанда [7] мәліметтерімен толық сәйкес келеді. Жоғары температура кезінде [5]-ден $\lambda(T)$ тәуелділігі нағыз зерттеудегі нүктеден айтарлықтай төмен жатыр. Максималды айырмашылық шамамен 17 % пайызды құрайды. Ал 1475 К температурасына жақындағанда авторлардың алған қисығын кесіп өтеді.

Авторлар мақаласында [8] қорытпа, алдын ала 1450 К ауада күйдірілген және термиялық шаршауға сыналған. Оған циклдық қыздыру және салқындату, сонымен қатар болаттың таксоформалау имитациялық процессі кірді. Дегенмен, графиктан көріп отырғандарыңыздай жылуөткізгіштік бойынша [8; 9; 10] алынған деректер барлық басқа деректермен жақсы сәйкеседі. Зерттеліп отырған осы жұмыс нәтижелерімен де сәйкестігі жоғары.

Ең кіші квадраттар әдісімен қорытпаның жылуөткізгіштігі бойынша есептелінген деректер ұқсастығы бізге келесі өрнектерді ұсынды:

$$\lambda(T) = 6,922 + 7,623 \cdot 10^{-3} T + 9,0 \cdot 10^{-6} T^2, \quad 300 \leq T \leq 790 \text{ К}, \quad (5)$$

$$\lambda(T) = 5,098 + 1,965 \cdot 10^{-2} T - 2,0 \cdot 10^{-6} T^2, \quad 1076 \leq T \leq 1475 \text{ К}, \quad (6)$$

мұндағы – λ жылу өткізгіштік Вт/(м·К) өлшенеді. 5 және 6 өрнектермен есептелінген нүктелердің орташа квадраттық ауытқулары 1,1 аспайды және тиісінше 0,4 % тең.

Кестеде Inconel 617 қортпасының ұсынылған a және λ мәндері келтірілген, бұл мәндер (3) – (6) өрнегіне негізделе отырып алынды. Олардың болжамды анықтау қателіктері — δa и $\delta \lambda$, [11; 12; 13].

Өлшеу жұмыстары LFA-427 қондырғысында лазерлік жарқыл әдісімен 300 ден 1475 К дейінгі температура диапазонында зертханалық қондырғылар көмегімен жүргізілді. Алынған мәліметтер температура өткізгіштігі үшін температураның 2–4 % пен 3–5 % қателіктері бойынша бағаланды.

Сонымен, Inconel 617 суперқортпасының 300 ден 1475 К температура интервалында температураөткізгіштік және жылуөткізгіштік бойынша 2–4 % пен 3–5 % болжамды қателіктерін ескере отырып жаңа эксперименталды мәндер алынды.

Температураның үлкен аумағында $\alpha(T)$ және $\lambda(T)$ зерттелетін қасиеттердің қисық сызықтары әлсіз сызықты емес тәуелділіктерге ие. Ал $\alpha(T)$ қисығында 1015-1076 К аймағында айқын үзіліс байқалады, бұл фазалық түрлендіруге шартталған. Қазіргі кезде бар әдебиеттік мәліметтермен α және λ мәндері бойынша өлшенген шамаларды салыстыратын болсақ шынайылығын растайды.

Inconel 617 қортпасының температураөткізгіштік және жылуөткізгіштік бойынша ұсынылған мәндер және олардың болжамды қателіктері бойынша алынған мәліметтер негізінде кесте құрылды. Бұл кесте болашақта әр түрлі инженерлік зерттеулер мен ғылыми талдауларда қолдануға қажет болатын анықтамалық мәндер болып табылады. Сонымен қатар инженерлік мәселелерді шешуде эксплуатациялық параметрлерлерге жуық есептеу жұмыстарын жүргізуде, яғни энергетика, машина жасау, металлургия және басқада өндірістік салаларда қондырғылар мен тетіктерді жасауда қолдануға болады.

1-кесте – Inconel 617 қортпасының температураөткізгіштік және жылуөткізгіштік бойынша ұсынылған мәндер және олардың болжамды қателіктері.

T, K	α , мм ² /с	λ , Вт/(м ² К)	$\delta\alpha$, %	$\delta\lambda$, %
300	2,87	10,02	2,0	3,0
400	3,11	11,41	2,1	3,1
500	3,38	12,98	2,2	3,2
600	3,66	14,73	2,3	3,3
T, K	α , мм ² /с	λ , Вт/(м·К)	$\delta\alpha$, %	$\delta\lambda$, %
700	3,97	16,67	2,4	3,4
790	4,30	18,56	2,5	3,5
900	4,65	—	2,6	—
1000	5,02	—	2,7	—
1015	5,08	—	2,7	—
1076	4,72	23,92	2,8	3,8
1100	4,78	24,29	2,8	3,8

1200	5,04	25,79	2,9	3,9
1300	5,29	27,25	3,0	4,0
1400	5,53	28,68	3,5	4,5
1475	5,70	29,72	4,0	5,0

Қорытынды

Нәтижелерді талқылау бөлімінде алынған нәтижелер зерттеудің маңыздылығын дәлелде болып табылады, өйткені никель қорытпаларының біршамасы құйманың микроқұрылымына және құрылымына байланысты болады. Ал ол жоғары критикалық қысым мен температуралы агрессивті ортада қолданған кезде жылуөткізгіштікке және жылу диффузиясына әсер етеді. Сонымен қатар келесі жайтты ескеру қажет, басқа ғалымдардың зерттеу жұмыстарында жоғары температурада қорытпа қорының ескіруі кезінде жылуфизикалық қасиеттері өзгеріссіз қалған. Сондықтан, зерттеудің мақсаты 1475 К дейінгі жоғары температурада қорытпаның жылуфизикалық қасиетін зерттеу болып табылады. Яғни, өндірістік жылуалмастырғыш қондырғылар жоғары критикалық параметірлерде және агрессивті ортада жұмыс істегендіктен қондырғыға тұтастай әсер етеді.

REFERENCES

- 1 Agazhanov A. Sh., Abdullaev R. N., Samoshkin D. A., Stankus S. V. Thermal conductivity and thermal diffusivity of Li-Pb eutectic in the temperature range of 293–1273 K // Fusion Engng. Design, – 2020. – Vol. 152. – No. 111–456. – P. 1–5.
- 2 Cape J. A., Lehman G. W. Temperature and finite pulse-time effects in the flash method for measuring thermal diffusivity // J. Appl. Phys. – 1963. – Vol. 34. – No. 7. – P. 1909–1913.
- 3 Blumm J., Opfermann J. Improvement of the mathematical modeling of flash measurement // High Temp. – High Press, – 2002. – Vol. 34, – No. 5. – P. 515–521.
- 4 Kozlovskii Yu. M., Stankus S. V. The linear thermal expansion coefficient of Inconel 617 alloy // J. Phys. Conf. Ser. – 2021. – Vol. – 2119. – P. 012136–1–012136–4.
- 5 Rai A.K., Trpathy H., Hajra R.N., Raju S., Saroja S. Thermophysical properties of Ni based super alloy 617 // J. Alloys Compounds, – 2017. – Vol. 698. P. 442–450.

6 **Agazhanov A. Sh., Samoshkin D. A., Klovskii Yu. M.** Thermophysical properties of Inconel 718 alloy // J. Phys. Conf. Ser. – 2019. – Vol. 1382. – P. 012175-1–012175-5.

7 **Rabin B. H., Swank W. D., Wright R. N.** Thermophysical Properties of Alloy 617 from 25 °C to 1000 °C // Nuclear Engng Design. – 2013. – Vol. 262. – P. 72–80.

8 **Birol Y.** Thermal fatigue testing of Inconel 617 and Stellite 6 alloys as potential tooling materials for thixoforming of steels // J. Materials Sci. Eng. A. 2010. – Vol. 527, – No. 7–8. – P. 1938–1945.

9 **Samoshkin D. A., Agazhanov A. Sh., Stankus S. V.** Heat capacity of Inconel 617 alloy // J. Phys. Conf. Ser. – 2021. – Vol. 2119. – P. 012138-1–012138-5.

10 **Guo Y., Wang B., Hou S.** Aging precipitation behavior and mechanical properties of Inconel 617 superalloy // Acta Metall. Sinica. Engl. Letters. – 2013. – Vol. 26. – No. 3. – P. 307–312.

11 **El-Awadi G.A., Abdel-Samad S., Elshazly E.S.** Hot corrosion behavior of Ni based Inconel 617 and Inconel 738 superalloys // Appl. Surf. Sci. – 2016. – Vol. 378. – P. 224–230.

12 **Jo T.S., Kim S.H., Kim D.G., Park J.Y., Kim Y.D.** Thermal degradation behavior of Inconel 617 alloy // Metals and Materials. Inttrn. 2008. – Vol. 14, – No. 6. – P. 739–743.

13 **Birol Y.** High temperature sliding wear behaviour of Inconel 617 and Stellite 6 alloys // Wear. 2010. Vol. 269. – No. 9–10. P. 664–671.

Received 12.06.25.

Received in revised form 01.08.25.

Accepted for publication 05.12.25.

*М. С. Канатинов¹, *А. Т. Байдилдина², Е. С. Дүйсембаева³,
А. Ш. Агажанов⁴, Д. А. Самошкин⁵*

^{1,2,3}Восточно-Казахстанский технический университет имени
Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;

⁴Новосибирский государственный университет,
Российская Федерация г. Новосибирск;

⁵Институт теплофизики имени С. С. Кутателадзе,
Российская Федерация, г. Новосибирск.

Поступило в редакцию 12.06.25.

Поступило с исправлениями 01.08.25.

Принято в печать 05.12.25.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ СПЛАВА INCONEL 617

Данное исследование показало, что одним из наиболее перспективных сплавов является сплав Inconel 617, так как структурно-химическом составе имеется хром, никель, кобальт, молибден способный придать материалу жаропрочные свойства в агрессивных средах. Несмотря на то, что многие физико-механические свойства сплава были исследованы, температуропроводность и теплопроводность, которые играют важную роль в процессе эксплуатации и воздействуют на расширение металла, до сих пор не изучены, поэтому данная исследовательская работа является актуальной. Измерение проводилось в лабораторных установках в диапазоне температур от 300 до 1475 К методом лазерной вспышки на установке LFA-427. Полученные данные оценивались в погрешности от температуры 2–4 % и 3–5 % для температуропроводности. На основе проведенных исследований были получены аппроксимирующие уравнения температурой зависимости свойств материала, а также составлена таблица справочных значений, которые могут быть использованы в различных инженерных исследованиях при решении различных задач. В статье доказано, что промышленные теплообменные установки влияют на установку в целом, так как работают в условиях высоких критических параметров и агрессивных сред.

Ключевые слова: сплав Inconel 617, температуропроводность, теплопроводность, метод лазерной вспышки, теплоэнергетика.

*M. Kanapinov¹, *A. Baidildina², G. Duysembaeva³,*

A. Agazhanov⁴, D. Samoshkin⁵

^{1,2,3}D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,

Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;

⁴Kutateladze Institute of Thermophysics,

Russian Federation, Novosibirsk;

⁵Novosibirsk State University, Russian Federation, Novosibirsk.

Received 12.06.25.

Received in revised form 01.08.25.

Accepted for publication 05.12.25.

RESEARCH OF THERMAL CONDUCTIVITY AND THERMAL DIFFUSIVITY OF INCONEL 617 ALLOY

This study has shown that one of the most promising alloys is Inconel 617, due to the presence of chromium, nickel, cobalt, and molybdenum in its chemical composition, which impart heat-resistant properties to the material in aggressive environments. Although many physical and mechanical properties of the alloy have been studied, thermal diffusivity and thermal conductivity – which play a crucial role during operation and influence the thermal expansion of the metal – have not yet been thoroughly investigated. Therefore, this research is of current relevance. Measurements were carried out using laboratory equipment over a temperature range of 300 to 1475 K by the laser flash method on an LFA-427 setup. The obtained data were evaluated with an uncertainty of 2–4 % for temperature and 3–5 % for thermal diffusivity. Based on the research, approximating equations for the temperature dependence of the material properties were derived, and a reference table of values was compiled. These results can be used in various engineering studies to solve a wide range of problems. The article demonstrates that industrial heat exchanger units affect the overall system, as they operate under conditions of high critical parameters and aggressive environments.

Keywords: Inconel 617 alloy, thermal diffusivity, thermal conductivity, laser flash method, heat power engineering.

Теруге 17.12.2025 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4494

Сдано в набор 17.12.2025 г. Подписано в печать 30.12.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4494

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz