

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

№ 2 (2024)

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/ZSHT7059>

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., доцен;</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А.Р.	<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

FTAMP 44.31.31

<https://doi.org/10.48081/ZBEU5480>

***Д. Н. Кәкімжанов^{1,2}, О. В. Колисниченко², Б. К. Рахадилов³; А. Е. Кусайнов⁴,**

¹Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.,

²Е. О. Патон атындағы Электрмен дәнекерлеу институты, Украина, Киев қ.,

³«PlasmaScience» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

*e-mail: dauir_97@mail.ru

ЭВТЕКТИКАЛЫҚ ҚОРЫТПАДАН ЖАСАЛҒАН ҚОРҒАНЫС ЖАБЫНДАРЫН ИМПУЛЬСТІК- ПЛАЗМАЛЫҚ ӨНДЕУ

Бүгінгі таңда өнеркәсіптің алдында тұрған негізгі міндеттердің бірі-бөлшектердің, тораптар мен механизмдердің жоғары сапасын, сенімділігі мен беріктігін қамтамасыз ету. Мұндай бөлшектерге арналған материалдарды жасау ауыр жұмыс жағдайларына байланысты күрделене түседі: жоғары циклдік температура, динамикалық жүктемелер, жоғары жылдамдықты газ ағындарының агрессивті әсері. Бұл мәселенің шешімі арнайы материалдарды қолдана отырып, машина бөлшектерін жасаудың, қалтына келтірудің және қатайтудың тиімді әдістерін қолдану болып табылады. Бұл материалдар белгілі бір физикалық-механикалық қасиеттері бар жабындарды жасауға мүмкіндік береді, бұл экстремалды жұмыс жағдайында бөлшектердің беріктігі мен сенімділігін арттыруға көмектеседі.

Бұл мақалада тығыз балқитын боридтері бар темір негізіндегі эвтектикалық қорытпа ұнтағынан детонациялық әдіспен алынған жабындарды импульстік өңдеу арқылы жабынының қасиеттерін жақсарту жұмыстары жүргізілген. Сондай-ақ, осы мақалада біз Fe-TiB₂-CrB₂ негізіндегі жабындардың құрылымына,

қаттылығына, кедір-бұдырлығына және химиялық құрамына импульсті-плазмалық өңдеудің әсерін зерттедік. Біз осы жабындардың беткі қабаттарының құрылымы мен қасиеттерін өзгерту үшін импульсті плазмалық өңдеуді қолдандық. Механикалық сынақтардың нәтижелері өңдеуден кейін $\text{Fe-TiB}_2\text{-CrB}_2$ жабындарының қаттылығының жоғарылауын көрсетті. Рентгендік құрылымдық талдауға сәйкес, қаттылықтың бұл жоғарылауы беткі қабаттың фазалық құрамының өзгеруіне, соның ішінде оксид фазаларының түзілуіне және карбид фазаларының көбеюіне байланысты.

Кілтті сөздер: тығыз балқитын боридтер, жабын, импульсті-плазмалық өңдеу, қорытпа, қаттылық, детонация.

Кіріспе

Ыстық аймақта (600 °C және одан жоғары) жұмыс істейтін бөлшектердің беттерін қорғау үшін бірқатар деструктивті факторлардың экстремалды әсерінен олардың жұмыс істеуін қамтамасыз ететін қасиеттер кешені бар жаңа материалдар қажет. Мұндай қасиеттер кешенін гетерофазалық қорытпаларда жүзеге асыруға болады.

Бірқатар жұмыстарда [1; 2; 3], тығыз балқитын боридтері бар темір негізіндегі үш немесе одан да көп компонентті қорытпаларда эвтектикалық типтегі политемиялық кесінділер бар екендігі көрсетілген. Кристалдану кезіндегі эвтектикалық қорытпалардың құрылымы темір матрицасының және енгізудің тығыз балқитын фазаларының бірлескен (кооперативті) өсуі кезінде қалыптасады, бұл эвтектикалық астық шегіндегі колониялар. Эвтектикалық кристалдануды тудыратын және жүргізетін енгізу фазалары колонияның өте тармақталған қаңқасын құрайды, оның бұтақтары арасындағы кеңістік темір негізіндегі қатты ерітіндімен металл матрицамен толтырылған. Жұмсақ темір матрица кернеулерді қатты, берік жақтаудың жеке тармақтары арасында өткізеді және қайта бөледі. Осылайша, қарастырылып отырған құйылған эвтектикада композициялық қатайту механизмі жүзеге асырылады. Қорытпалардың бұл күйі 0,9 T_6 (900 – 1100°C) дейінгі температура диапазонында жоғары беріктік пен триботехникалық қасиеттерге байланысты [4, 5].

Салқындату жылдамдығының жоғарылауымен балқымадағы атомдардың диффузиялық қозғалғыштығының шектелуіне байланысты эвтектикалық кристалдану механизмі өзгереді. Белгілі бір критикалық салқындату жылдамдығына жеткенде, жоғары салқындатылған сұйықтықта эвтектиканы құрайтын фазалық кристалдар бір уақытта туады және дербес өседі [6]. Жұқа фазалық конгломерат құрылымы қалыптасады, ол күшейтудің дисперсті механизміне сәйкес келеді. Бұл жағдайда темір матрицасы негізгі жүктемені көтереді, ал дисперсті фазалық кристалдар оны қатайтады, дислокация қозғалысын блоктайды. Қарастырылып отырған эвтектиканың мұндай құрылымдық күйі жоғары коррозияға төзімділікпен, отарлық құрылымдармен салыстырғанда сынғыштықтың төмендеуімен, термодинамикалық тепе-теңдік жағдайынан ауытқу дәрежесінің жоғарылауымен сипатталады.

Эвтектикалық қорытпадан жасалған жабындардың қасиеттерін арттыруға сыртқы жоғары энергетикалық әсер ету арқылы қол жеткізуге болады. Ең тиімді әдіс – бұл бетті өзгертуді қамтитын күрделі импульстік-плазмалық өңдеу (ИПӨ): магнит өрісі, электр тогы (зарядталған элементар бөлшектер ағыны), металл және металл емес легирлеуші элементтері бар жоғары градиентті жылу ағыны (плазма) [7; 8].

Жоғарыда айтылғандарға байланысты бұл жұмыстың мақсаты Fe-TiB₂-CrB₂ жабындарының фазалық құрамы мен қаттылығына импульсті-плазмалық өңдеудің әсерін зерттеу болып табылады.

Материалдар мен әдістер

Бұл жұмыста титан және хром диборидтері бар темір негізіндегі Fe-TiB₂-CrB₂ эвтектикалық қорытпа ұнтағынан жасалған қорғаныс жабындары алынды және зерттелді. Қорытпаның құрамы 1 кестеде көрсетілген (мас.%):

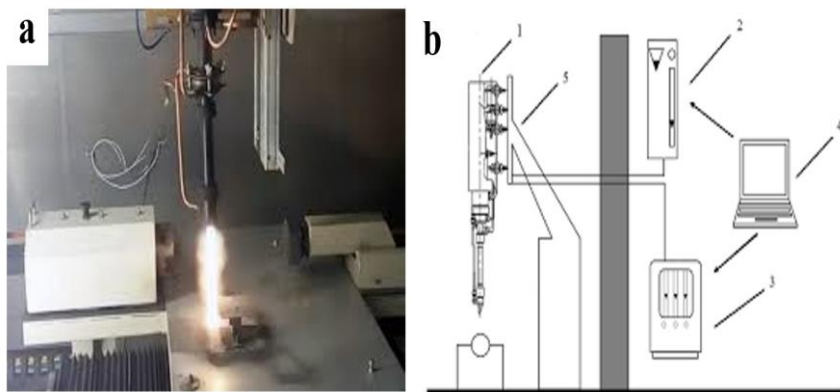
1 – Кесте Fe-TiB₂-CrB₂ ұнтағының химиялық құрамы

Fe	Ni	Cr	Ti	Al	B
негізі	6-8	20-20.5	2.4-2.5	5,6	2.5-2.6

Жабын алу көп камералы детонациялық қондырғының (сурет 1а) көмегімен жүзеге асырылады, мұнда ұнтақты материалды қыздыру және жеделдету пропан-бутан, оттегі және ауадан тұратын жанғыш газ

қоспасының детонациялық жану өнімдерімен жүзеге асырылады. Жабуға арналған жабдық бүркеуге арналған көп камералы детонациялық құрылғыдан – 1; ұнтақты коректендіргіштен – 2; Жанғыш қоспаны беруге арналған газ пультінен – 3; технологиялық процесті басқару жүйесінен – 4; детонациялық құрылғыны жылжытуға арналған автоматтандырылған жүйеден – 5. тұрады (сурет 1б)

Көп камералы детонациялық құрылғының құрылымдық ерекшеліктері жанғыш қоспалардың детонациялық жану мүмкіндігін қамтамасыз етеді, бұл жану өнімдерінің температурасын төмендетеді, олардың жылдамдығын төмендетпейді. Жеделдету және қыздыру үшін бөшкеге ұнтақ дозасы беріледі.



Сурет 1 – Көп камералы детонациялық қондырғы.

а – жұмыс кезінде қондырғының сыртқы көрінісі ;

б - қондырғының схемасы.

Жабын алу 50 мм қашықтықта жүзеге асырылды. Ұнтақты қыздыруға және үдетуге арналған саптаманың ұзындығы 300 мм, диаметрі 16 мм. Жанғыш газ қоспасының компоненттерінің құрамы мен шығыны 2-кестеде келтірілген.

Кесте 2 – Газ шығындары

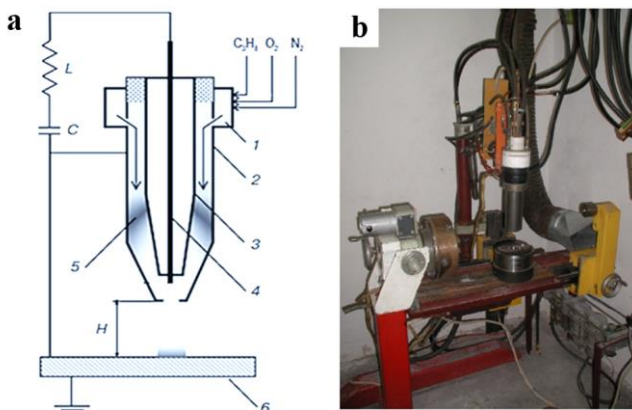
Қоспаның компоненттері:		Шығын, м3/сағ
1 камера	O ₂	2.92
	ауа	1.33
	C ₃ H ₈	0.66
2 камера	O ₂	2.93
	воздух	1.43
	C ₃ H ₈	0.66
Тасымалдаушы газ:		0,9

Қапталған үлгілердің бір бөлігі Импульс-6 қондырғысында (сурет 2) импульстік плазмамен өңделді. Қолданылатын импульстік коаксиалды плазмалық генератордың ерекшелігі-электр тогын детонациялық толқын фронтының артындағы газдың иондалған аймағымен ауыстыру мүмкіндігі [9,10]. Бұл 1-4 Гц жиілікте және 7 кДж дейін энергиямен импульстік плазма жасауға мүмкіндік береді. Нәтижесінде беті бірнеше рет импульстік жылу әсеріне ұшырайды. Жылу ағынының қуат тығыздығы 10^4 в 10^6 Вт / см² құрайды. Плазмаға әртүрлі легирлеу элементтерінің кешенін енгізу мүмкіндігі де бар. IPO беткі қабаттың тез қызуын (қыздыру уақыты 10^{-3} ... 10^{-4} с) қамтамасыз етеді, содан кейін оны өнім көлеміне жылуды бұру арқылы қарқынды салқындатады. Беткі қабаттардың балкуы мен кристалдануының жоғары жылдамдығы (10^7 К/с дейін) ұсақ дисперсті кристалдық құрылымның және дислокацияның жоғары тығыздығының қалыптасуына ықпал етеді. Импульстік жылу әсері, өңделетін материалдың құрылымын серпімді-пластикалық деформациялау, өңделетін беттік қабаттар арқылы импульстік токтың (10 кА/см² дейін) өтуіне байланысты электромагниттік әсермен бірге әртүрлі физика-химиялық процестерді күшейтеді. Импульсті-плазмалық өңдеу параметрлері 3-кестеде келтірілген.

Кесте 3– Импульсті-плазмалық өңдеу параметрлері

Параметрлер	Өлшем
Конденсатор батареясындағы кернеу (В)	3200

Конденсатор батареясының сыйымдылығы (мкФ)	960
Разряд тізбегінің индуктивтілігі (мкГн)	30
Плазмалық импульстардың жиілігі (Гц)	1.2
Қозғалыс жылдамдығы (мм/сек)	5
Үлгі бетіне дейінгі қашықтық (мм)	50,60



1—детонациялық камера; 2,3 – коаксиалды электродтар; 4 – эрозияға ұшырайтын электрод; 5 – электрод аралық Саңылау; 6 – бұйым;
H–үлгі бетіне дейінгі қашықтық.

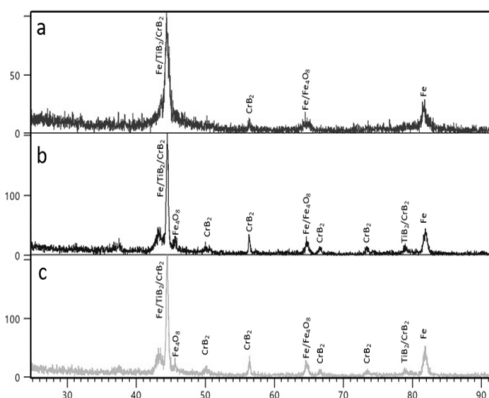
Сурет 2– Импульсті-плазмалық өндеуге арналған қондырғының схемасы (a) жалпы түрі (b)

Жабындардың фазалық құрамы дәстүрлі рентгендік дифракция (РДА) әдістерін қолдана отырып зерттелді, атап айтқанда бұрыштық позицияларды, қарқындылықты және дифракциялық шағылысу профильдерін талдау. Үлгілердің микроқаттылығын өлшеу МЕМСТ 9450-76 (ASTM E384-11) сәйкес метолаб 502 Микротведомерінде, $p = 0,1$ н инденторға жүктемелер және 10 сек. ұстау уақыты кезінде жүргізілді. Наноинденттеу НАНОСКАН-4D құрылғысында, МЕМСТ Р 8.748-2011 сәйкес, 100 мН жүктеме кезінде жүзеге асырылды. Юнг модулі мен

қаттылығы Оливер мен Фарр әдісімен анықталды. Жабындардың бетінің кедір-бұдырлығы 130 модель профилометрiнiң көмегімен бағаланды.

Нәтижелер және талқылау

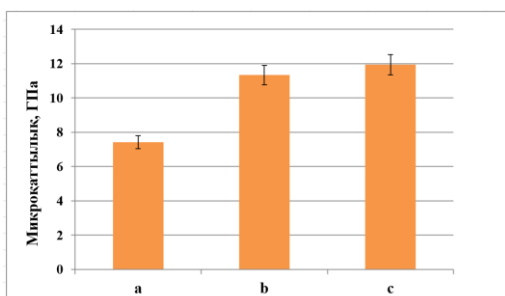
3-суретте импульсті-плазмалық өңдеуден бұрын және кейін жабын бетінің дифрактограммалары көрсетілген. Суреттен ИПӨ-ден кейін Fe-TiB₂-CrB₂ жабындарының дифрактограммасында CrB₂ және TiB₂ және Fe₄O₈ фазаларының жаңа рефлекстері байқалатынын көруге болады. Оның себебі импульстік плазмаға байланысты жабын бетінің қысқа мерзімді активтенуі болып табылады, мұнда құрамында белсенді көміртегі мен оттегі бар плазма тотығу мен карбюризацияның екі бір-бірін жоққа шығаратын химиялық термиялық процестерінің жүруіне әкеледі. Қатайтылған металл матрицасындағы хром оксиді мен карбидтің қатты фазаларының үйлесуі абразивті тозу жағдайында алынған материалдың беріктігін едәуір арттырады



Сурет 3 – Импульсті-плазмалық өңдеуге дейінгі (а) және кейінгі (b-50мм, c-60мм) жабындардың дифрактограммалары

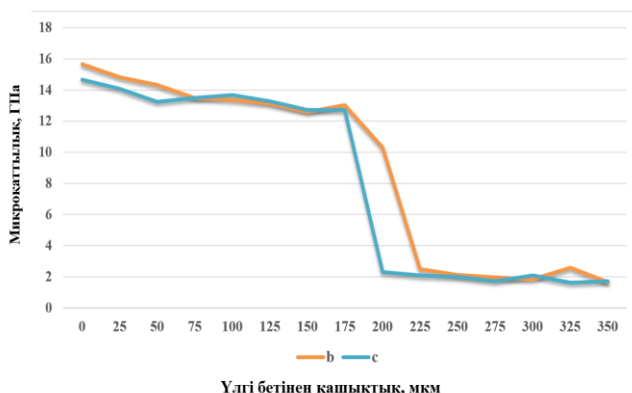
Fe-TiB₂-CrB₂ жабындарының микроқаттылығы 4-суретте көрсетілген. ИПӨ-ден кейін Fe-TiB₂-CrB₂ жабынының микроқаттылығының жоғарылауы байқалады. Импульсті плазмалық өңдеуге дейінгі жабындардың микроқаттылығы ~7,4 GPa құрады (сурет 4а). ИПӨ-ден кейін микроқаттылық мәні 50 мм ~11,3 GPa, ал 60 мм ~ 11,9 GPa жоғарлағанын көруге болады (сурет.4В, с) Бұл, ең алдымен, тозуға

төзімділігі жоғары карбидті фазаның CrB₂ үлесінің жоғарылауына байланысты



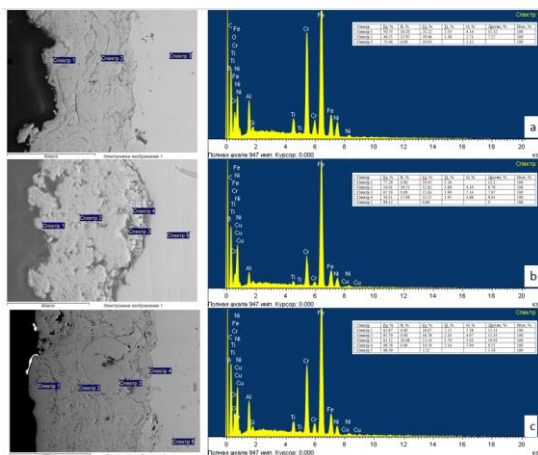
Сурет 4 – Импульсті-плазмалық өндеуге дейінгі (a) және кейінгі (b-50мм, c-60мм) жабын бетінің микроқаттылығы

5-суретте импульстік-плазмалық өндеуден кейін жабындардың қалыңдығы бойынша микроқаттылықтың таралу кестесі көрсетілген. Микроқаттылықтың Fe-TiB₂-CrB₂ жабынының тереңдігіне тәуелділік графигі екі үлгі үшін микроқаттылықтың таралуын көрсетеді. Импульсті-плазмалық өндеуден кейінгі жабындардың қаттылығы бастапқы жабынмен салыстырғанда жоғары мәнге ие. Қаттылық мәні өндеу қашықтығына байланысты. Жоғары қаттылық 50 мм қашықтықта импульсті-плазмалық өндеуден кейін байқалады



Сурет 5 –. Импульсті-плазмалық өндеуден кейін Fe-TiB₂-CrB₂ жабындарының тереңдігі бойынша қаттылықтың таралу графигі (b-50мм, c-60мм)

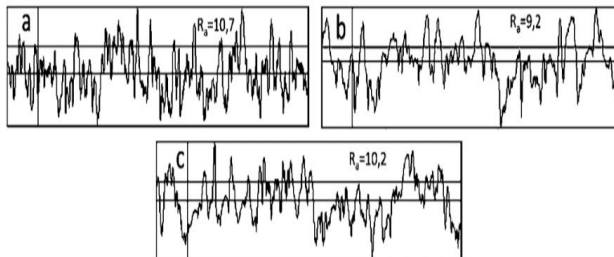
Әр түрлі үлгілер үшін қаттылықтың өзгеруі Fe матрицасындағы TiB₂ және CrB₂ бөлшектерінің концентрациясының өзгеруімен түсіндіріледі [11,12]. Бұл профиль қаттылық мөлшеріне қатты фазаның мазмұны және оның жабындағы таралуы әсер ететіндігін көрсетеді. Бұл сонымен қатар интерфейс маңында жұмсақ металл бөлшектерінің сұйылтылуына байланысты қаттылық тез төмендейтінін көрсетеді; элементтік EDS талдауы (сурет 6) сұйылту жағдайын растады. EDS талдауының көмегімен жабындар мен негізгі материалдың элементтік құрамы анықталды. Алынған мәліметтерден импульстіоплазмалық өндеуден кейін жабынның химиялық құрамы сақталатындығы көрінеді.



Сурет 6 – Импульсті-плазмалық өндеуге дейінгі (a) және кейінгі (b-50мм, c-60мм) спектрлер бойынша жабындарды элементтік талдау

7-суретте кедір-бұдырлықты өлшеу нәтижелері және алынған Fe-TiB₂ - CrB₂ жабынының профильдері көрсетілген. Жабындардың беттері гетерогенді құрылымға ие. Қаптау бетінің кедір-бұдырын бағалаудың негізгі параметрі ретінде профильдің орташа арифметикалық ауытқуы болып табылатын Ra шамасы таңдалды. Плазмалық өндеуге дейін алынған

жабындардың кедір-бұдыр параметрі $R_a = 10,7$ мкм мәніне ие. Плазмалық өңдеуден кейінгі жабындар кедір – бұдырлықтың шамалы төмендеуін көрсетті: өңдеу арақашықтығы 50 мм – $R_a = 9,2$ мкм, ал өңдеу арақашықтығы 60 мм – $R_a = 10,2$ мкм. Бұл мәннің төмендеуі жабынның бетін плазмалық реактивті өңдеумен байланысты, онда шығыңқы бөлшектердің балкуы жүреді [6].



Сурет 7 – Плазмалық өңдеуден бұрын (А) және кейін (b - 50мм), (с-60мм) Fe-TiB2 - CrB2 жабындарының профилограммалары және бетінің кедір-бұдырлығы

Қорытынды

Импульстік-плазмалық өңдеудің Fe-TiB2-CrB2 негізіндегі детонациялық жабындардың құрылымы мен қасиетіне әсері зерттелді. Зерттеу нәтижелерін талдау негізінде келесі қорытындылар жасауға болады:

ИПӨ-ден кейін CrB2 және TiB2 және Fe₄O₈ фазалары үлгі бетінде анықталатыны анықталды, CrB2 шыңдарының қарқындылығы артып, жаңа CrB2 және TiB2 рефлекстері пайда болды, бұл CrB2 фазасының жоғарылауын көрсетеді.

ИПӨ-ден кейін плазмалық импульстардың әсерінен жабындардың бұзылу белгілерінсіз жабындардың құрылымдық элементтерінің балкуы және туралануы байқалады.

ИПӨ-ден кейін үлгі бетінің кедір-бұдыр көрсеткішінің төмендеуі шығыңқы фрагменттер мен кеуектердің еруіне байланысты.

Импульсті-плазмалық өңдеу Fe-TiB2-CrB2 жабын материалының қаттылығын ~12,4 ГПа-дан (өңделмеген) ~15,6 ГПа-ға дейін арттыруға ықпал етеді;

Алынған мәліметтерге сүйене отырып, 50 мм қашықтықта импульсті-плазмалық өңдеу оңтайлы болып табылады.

Ыстық аймақта жұмыс істейтін бөлшектердің беттерін қорғаудың оңтайлы әдісі ретінде детонациялық бүркүді және кейіннен импульсті-плазмалық өңдеуді қамтитын жабындарды қолданудың осы біріктірілген әдісін ұсынуға болады

Қаржыландыру туралы ақпарат

Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Ғылым комитетінің ғылыми зерттеулерін гранттық қаржыландыру шеңберінде орындалды №AP14870977.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Панарин, В. Е., Тюрин, Ю. Н., Колисниченко, О. В., Шматко, О. А., Захаров, С. М., Свавильный, Н. Е.** Защитные покрытия из эвтектического сплава на основе железа с тугоплавкими боридами [Текст] // *Авиационно-космическая техника и технология.* – 2016. – №. 6. – С. 15–20.

2 **Панарин, В. Е., Цях, Р., Захаров, С. М., Шматко О. А.** Влияние скорости охлаждения жидких эвтектических сплавов на основе железа на дисперсность их кристаллической структуры [Текст] // *Вестник Черкасского национального университета : Серия «Физико-математические науки».* –2008. – №.2. – С. 5–13.

3 **Паустовский, А. В., Ткаченко, Ю. Г., Христов, В. Г., Алфинцева, Р. А., Юрченко, Д. З.** Материалы для электроискрового упрочнения и восстановления изношенных металлических поверхностей [Текст] // *Электронная обработка материалов.* – 2016. – Т. 52. – №. 1. – С. 13–21.

4 **Киндрачук, М. В., Панарин, В. Е., Москаленко, Ю. Н.** Влияние термоциклической обработки на структуру и свойства плазменных покрытий из эвтектических сплавов на основе железа [Текст] // *Металловедение и обработка металлов.* – 1995. – №. 1. – С. 38–45.

5 **Панарин, В. Е., Захаров, С. М., Шматко, О. А., Кисель, В. М., Терентьев, А. Е.** Плазменное покрытие из эвтектического сплава квазитройной системы Fe-TiB₂-CrB₂ [Текст] // *Авиационно-космическая техника и технология.* – 2014. – №. 8. – С. 108–112–108–112.

Панарин, В. Е. Структурные изменения в эвтектических сплавах железа, затвердевших с различными скоростями [Текст] // Металло-ведение и обработка металлов. – 1997. – № 1. – С. 20-25.

Kengesbekov, A. B., Rakhadilov, B. K., Tyurin, Y. N., Magazov, N. M., Kylyshkanov, M. K., Sagdoldina, Z. B. The influence of pulse-plasma treatment on the phase composition and hardness of Fe-TiB 2-CrB 2 coatings [Text] // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials. – 2021. – Т. 5. – №. 2. – С. 155-162.

Kakimzhanov, D. Rakhadilov, B., Sulyubayeva, L., Dautbekov, M. Influence of Pulse-Plasma Treatment Distance on Structure and Properties of Cr3C2-NiCr-Based Detonation Coatings [Text] //Coatings. – 2023. – Т. 13. – №. 11. – С. 1824.

Тюрин, Ю. Н., Жадкевич, М. Л. Плазменные упрочняющие технологии [Текст] // Наукова думка. – 2008. – Т. 215.

Tyurin Y. N., Kolisnichenko, O. V. Plasma-detonation technology for modification of the surface layer of metal parts [Text] // The Open Surface Sci. J.– 2009. – №.1. – С.13-19.

Kumar, A., Batham, H., Das, A. K. Microhardness of Fe-TiB2 composite coating on AISI 304 stainless steel by TIG coating technique [Text] // Materials Today: Proceedings. – 2021. – Т. 39. – С. 1291-1295.

Pogrebnyak, A. D., Tyurin, Y. N. Modification of material properties and coating deposition using plasma jets [Text] //Physics-Uspekhi. – 2005. – Т. 48. – №. 5. – С. 487.

REFERENCES

1 **Panarin, V. E. Tyurin, YU. N., Kolisnichenko, O. V., SHmatko, O. A., Zaharov, S. M.,Svavil'nyj, N. E.** Zashchitnye pokrytiya iz evtekticheskogo splava na osnove zheleza s tugoplavkimi boridami [Protective coatings from eutectic iron-based alloy with refractory borides] [Text]. // Aviacionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya. – 2016. – №. 6. – P. 15–20

2 **Panarin, V. E., Cyah, R. Zaharov, S. M., Shmatko, O. A.** Vliyanie skorosti ohlazhdeniya zhidkih evtekticheskikh splavov na osnove zheleza na dispersnost' ih kristallicheskoj struktury [Effect of cooling rate of liquid eutectic iron-based alloys on the dispersibility of their crystal structure] [Text]. // Vestnik

Cherkasskogo nacional'nogo universiteta : Seriya «Fiziko-matematicheskie nauki. – 2008. – № 2. – P. 5-13.

3 Paustovskij, A. V., Tkachenko, YU. G., Hristov, V. G., Alfinceva, R. A., YUrchenko, D. Z. Materialy dlya elektroiskrovogo uprochneniya i vosstanovleniya iznoshennyh metallicheskih poverhnostej [Materials for electrospark peening and restoration of worn metal surfaces] [Text]. Elektronnaya obrabotka materialov. – 2016. – T. 52. – №. 1. – P. 13–21.

4 Kindrachuk, M. V., Panarin, V. E., Moskalenko, Yu. N. Vliyanie termociklicheskoj obrabotki na strukturu i svojstva plazmennyyh pokrytij iz evtekticheskikh splavov na osnove zheleza [Influence of thermocyclic treatment on structure and properties of plasma coatings from eutectic iron-based alloys] [Text]. Metallovedenie i obrabotka metallov. – 1995. – №. 1. – P. 38-45.

5 Panarin, V. E., Zaharov, S. M., SHmatko, O. A., Kisel', V. M., Terent'ev, A. E. Plazmennoe pokrytie iz evtekticheskogo splava kvazitrojnoj sistemy Fe-TiB2-CrB2 [Plasma coating of eutectic alloy of quasi-triple Fe-TiB2-CrB2 system] [Text]. Aviacionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya. – 2014. – №. 8. – P. 108–112.

Panarin, V. E. Strukturnye izmeneniya v evtekticheskikh splavah zheleza, zatverdevshih s razlichnymi skorostyami [Structural changes in eutectic iron alloys solidified at different rates] [Text]. Metallovedenie i obrabotka metallov. – 1997. – № 1. – P. 20-25.

Kengesbekov, A. B., Rakhadilov, B. K., Tyurin, Y. N., Magazov, N. M., Kylyshkanov, M. K., Sagdoldina, Z. B. The influence of pulse-plasma treatment on the phase composition and hardness of Fe-TiB 2-CrB 2 coatings [Text] // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials. – 2021. – T. 5. – №. 2. – C. 155-162.

Kakimzhanov, D. Rakhadilov, B., Sulyubayeva, L., Dautbekov, M. Influence of Pulse-Plasma Treatment Distance on Structure and Properties of Cr3C2-NiCr-Based Detonation Coatings [Text] //Coatings. – 2023. – T. 13. – №. 11. – C. 1824.

Tyurin YU. N., ZHadekevich M. L. Plazmennyye uprochnyayushchie tekhnologii [Plasma hardening technologies] [Text]. Naukova dumka. – 2008. – T. 215.

Tyurin Y. N., Kolisnichenko, O. V. Plasma-detonation technology for modification of the surface layer of metal parts [Text] // The Open Surface Sci. J.– 2009. – №.1. – С.13-19.

Kumar, A., Batham, H., Das, A. K. Microhardness of Fe-TiB₂ composite coating on AISI 304 stainless steel by TIG coating technique [Text] // Materials Today: Proceedings. – 2021. – Т. 39. – С. 1291-1295.

Pogrebnyak, A. D., Tyurin, Y. N. Modification of material properties and coating deposition using plasma jets [Text] //Physics-Uspekhi. – 2005. – Т. 48. – №. 5. – С. 487.

01.05.24 ж. баспаға түсті.

25.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

**Д. Н. Какимжанов^{1,3}, О. В. Колисниченко², Б. К. Рахадиев³,
А. Е. Қусайнов⁴*

¹ Восточно – Казахстанский технический университет имени
Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск,

³Институте электросварки имени Е. О. Патона НАН Украины,
Украина, г. Киев,

^{1,3,4}ТОО «PlasmaScience», Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск
Поступило в редакцию 20.02.24.

Поступило с исправлениями 28.02.24.

Принято в печать 02.06.24.

ИМПУЛЬСНО-ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СПЛАВА

Одной из основных задач, стоящих сегодня перед промышленностью, является обеспечение высокого качества, надежности и долговечности деталей, узлов и механизмов. Изготовление материалов для таких деталей усложняется из-за тяжелых условий эксплуатации: высоких циклических температур, динамических нагрузок, агрессивного воздействия высокоскоростных газовых потоков. Решением данной проблемы является применение эффективных методов изготовления,

восстановления и закаливании деталей машин с применением специальных материалов. Эти материалы позволяют создавать покрытия с определенными физико-механическими свойствами, что способствует повышению прочности и надежности деталей в экстремальных условиях эксплуатации.

В данной статье проведена работа по улучшению свойств покрытия путем импульсной обработки покрытий, полученных детонационным методом из порошка эвтектического сплава на основе железа с тугоплавкими боридами. А также в данной статье мы исследовали воздействие импульсно-плазменной обработки на структуру, твердость, шероховатость и химический состав покрытий на основе $\text{Fe-TiB}_2\text{-CrB}_2$. Мы применили импульсно-плазменную обработку для изменения структуры и свойств поверхностных слоев этих покрытий. Результаты механических тестов показали увеличение твердости покрытий $\text{Fe-TiB}_2\text{-CrB}_2$ после обработки. Согласно рентгеноструктурному анализу, это увеличение твердости связано с изменениями в фазовом составе поверхностного слоя, включая образование оксидных фаз и увеличение количества карбидных частиц.

Ключевые слова: тугоплавкие бориды, покрытие, импульсно-плазменная обработка, сплав, твердость, детонация.

*D. N. Kakimzhanov^{1,2}, O. V. Kolisnichenko² B. K. Rakhadilov³

A. E. Kussainov^{1,3}

^{1,4}D. Serikbayev East Kazakhstan technical university,
Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;

²E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy
of Sciences of Ukraine, Kyiv;

^{1,3,4}Plasmascience LLP, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

Received 20.02.24.

Received in revised form 28.02.24.

Accepted for publication 02.06.24.

PLASMA TREATMENT OF PROTECTIVE COATINGS OF EUTECTIC ALLOYS

One of the main tasks facing the industry today is to ensure high quality, reliability and durability of parts, assemblies and mechanisms. Manufacturing of materials for such parts is complicated due to severe operating conditions: high cyclic temperatures, dynamic loads, aggressive impact of high-speed gas flows. The solution to this problem is the application of effective methods of manufacturing, restoration and hardening of machine parts with the use of special materials. These materials make it possible to create coatings with specific physical and mechanical properties, which helps to increase the strength and reliability of parts under extreme operating conditions.

In this paper, we have carried out the work on improving the coating properties by pulse treatment of coatings obtained by detonation method from powder of eutectic iron-based alloy with refractory borides. And also in this paper we investigated the effect of pulse plasma treatment on the structure, hardness, roughness and chemical composition of Fe-TiB₂-CrB₂ based coatings. We applied pulsed plasma treatment to modify the structure and properties of the surface layers of these coatings. Mechanical test results showed an increase in the hardness of Fe-TiB₂-CrB₂ coatings after treatment. According to X-ray diffraction analysis, this increase in hardness is due to changes in the phase composition of

the surface layer, including the formation of oxide phases and an increase in the number of carbide particles.

Keywords: refractory borides, coating, pulse plasma treatment, alloy, hardness, detonation.

Теруге 03.06.2024 ж. жіберілді. Басуға 28.06.2024 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

Корректоры: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Тапсырыс №4248

Сдано в набор 03.06.2024 г. Подписано в печать 28.06.2024 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

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

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректорлар: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Заказ № 4248

«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