

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 (2023)

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/SMUR2431>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *д.т.н., профессор*
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD*
Омарова А.Р., *технический редактор*

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/HUYA9265>

***Н. С. Кузнецова¹, Е. Ж. Сарсикеев², А. К. Оразбекова³,
Г. О. Сулейменова⁴, А. К. Сагалбаева⁵**

¹Ұлттық зерттеу Томск политехникалық университеті,
Ресей Федерациясы, Томск қ;

^{2,3,4}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ;

⁵«Intek» ЖК, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

*e-mail: oka-a7@mail.ru

ЭЛЕКТРЛІК ЖАРЫЛЫСТЫҢ БҰЗЫЛУЫ КЕЗІНДЕГІ ҚАТТЫ МАТЕРИАЛДАРҒА СОҚҚЫ ТОЛҚЫНЫ ӘСЕРІНІҢ СИПАТТАМАСЫ

Темірбетон бұйымдарын жоюға арналған электр разрядты технологиясы бірқатар экологиялық кемшіліктері бар қатты материалдарды қайта өңдеудің механикалық әдістеріне перспективті балама болып табылады. Берілген жұмыста электрлік жарылыстың әсерінен плазмалық разрядтық арнаның пайда болуы кезіндегі қатты материалдың кернеулі-деформациялық күйінің толқындық динамикасы қарастырылған. Разряд тізбегінің жұмысын, разрядтық арнаның кеңеюін және серпімді-пластикалық толқындардың генерациясын дәйекті түрде сипаттайтын физикалық-математикалық модель шеңберінде материалдағы шұңқырдың пайда болуының әртүрлі механизмдері қарастырылады - аз энергия сыйымдылығы, бетінен шағылысқан толқындар есебінен жүзеге асырылады және энергияны көп қажет етеді, онда қабат функциясының жарықтары қысу кернеулерінің тікелей толқынынан туындайды; өңделген материалды жоюдың ең тиімді шарттары анықталады. Шығару тізбегінің параметрлері мен материалдың кернеулі-деформациялық күйі мен бұзылу сипаты арасындағы байланыс көрсетіледі, бет пішіні мен контур параметрлерінің ықтимал бұзылу сипатына әсері бағаланады. Осылайша, энергияның «жылдам» кірісі бар электрлік жарылыстың негізгі зақымдаушы факторы созылу тангенциалды кернеулер аймағы екені анықталды. Энергияны енгізудің «баяу» режимінде деструкция ең алдымен ығысу деформациялары есебінен, ал энергияның жылдам

түсуі кезінде созылу тангенциалды кернеулерінен болады. Жұмыстың нәтижелері электр разряды немесе аралас әдістерді қолдана отырып, темірбетон бұйымдары мен тау жыныстарын қайта өңдеуге арналған электр станцияларын жобалау кезінде пайдалы болуы мүмкін.

Кілтті сөздер: бетон, электрлік жасарылыс, импульстік генератор, разрядтық арна, толқындық процесстер, бұзылу, деформация.

Кіріспе

Қатты ток өткізбейтін материалдарды жоюдың электр разрядтық әдісінің тиімділігі күшті тау жыныстары мен жасанды шыққан материалдарға (граниттер, микрокварциттер, жоғары берік бетон және т.б.) қатысты толығымен зерттеліп, қарастырылды [1–3]. Бұл позицияның негізі бір-бірін толықтыратын екі фактормен анықталады: осы топтағы материалдардың созылу беріктігінің төменгі шегі және электрлік жарылыс тудыратын толқында созылу тангенциалды кернеулер аймағының қалыптасуы [4, 5]. Нәтижесінде жарықшақтардың басталуы мен өсуінің шарттары толқынның энергетикалық сипаттамаларының төменгі деңгейінде де жүзеге асады [5].

Берілген [7]-де әдебиет көзінде физика-математикалық модель шеңберіндегі жұмыста қатты диэлектрлік материалдардағы кеңейетін разряд арнасы шығаратын толқынның ерекшеліктері, оның таралуы, диэлектриктің шекараларымен өзара әрекеттесуі және де нәтижесі ретінде механикалық кернеулер өрісінің қалыптасуы және толқынның энергиясымен бірге материалдың жойылу дәрежесі де талданады..

Материалдар мен әдістер

Электр жарылыс кезіндегі толқындық процесстер

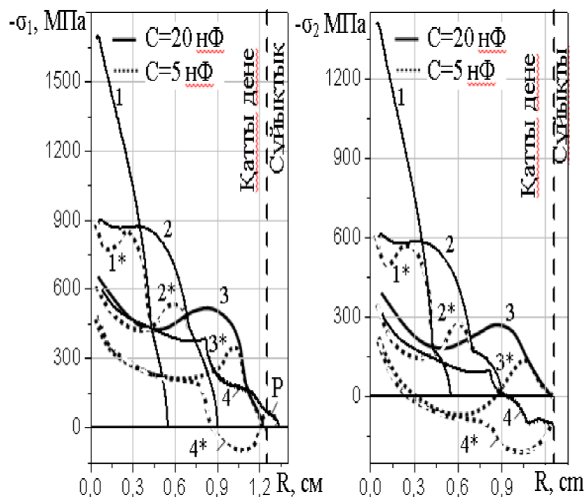
Қатты диэлектриктердегі электрлік жарылыс кезіндегі толқын динамикасы толығымен разрядтың энергетикалық сипаттамаларымен, материалдың физикалық-механикалық қасиеттерімен және диэлектрлік беттерге қатысты бұзылу арнасының орналасуымен анықталады.

Қатты денеде разряд аралығы жабылған кезде диаметрі (5-10) мкм болатын разряд арнасы пайда болады, оның плазмасына сақтау энергиясы енгізіледі. Энергия сақтағыштың разрядты тоғымен қыздыру арқылы арна уақыт өте келе кеңейеді (10-6-10-4) с және қоршаған материалға механикалық кернеулер толқынын тудырады. Материалдағы толқындық бұзылулардың таралуы оның одан әрі жойылуын анықтайтын шиеленісті-деформацияланған күйді құрайды.

Екі сипаттамалық разряд режимі үшін σ_1 және σ_2 толқынындағы механикалық кернеулердің типтік диаграммалары 1 суретте көрсетілген.

Мұнда және төменде бұзылу үлгісінің болжамы толқынның таралу бағытына перпендикуляр (σ_1) және оған параллель (σ_2) аяндарда әрекет

ететін негізгі кернеулерді талдау негізінде жүзеге асырылды. Олардың мәндері σ_{xx} , σ_{yy} , T_{xy} коэффициенттерінің есептік мәндері негізінде анықталды [8].



Сурет 1 – Олқындағы радиалды σ_1 (а) және тангенциалды σ_2 (б) кернеулерінің диаграммалары: $l_{ch} = 2$ см, $R_t = 1,25$ см; $U_0 = 280$ кВ, $L = 5$ мкГн; 1, 1* – $t=0,8$ мкс; 2, 2* – $t=1,3$ мкс; 3, 3* – $t=2$ мкс; 4, 4* – $t=2,4$ мкс

1-суреттегі тәуелділіктер толқын қатты-сұйықтық шекарасына енгенге дейін және одан шағылысу кезінде радиалды σ_1 және тангенциалды σ_2 кернеулердің радиалды таралуын көрсетеді. Шығару арнасының маңында қысу кернеулерінің деңгейі қатты дененің статикалық және тіпті динамикалық беріктігінің шегінен асып кетуі мүмкін [9] және материалдың ұсақталуы орын алады. Радиалды жарықтардың пайда болуы, жоғарыда айтылғандай, σ_2 толқынындағы созылатын тангенциалдық кернеулерге байланысты болады, Төмен энергетикалық режим үшін (1,6-суретті қараңыз, 3-қисық*) созылу кернеулерінің аймағы σ_2 түзу толқында жеткілікті түрде көрсетілген, 1,6-сурет.

Егер созылу жанама кернеулері материалдың максималды созылу кернеуінен асып кетсе, бұл тікелей толқында радиалды жарықтардың пайда болуына әкеледі. Егер разряд режимі анағұрлым қуатты, ұзағырақ болса немесе бұзылу арнасы диэлектриктің бетіне жақын орналасса, онда созылу тангенциалды кернеулер аймағы толқын қатты-сұйықтық шекарасына жеткенше қалыптасып үлгермейді (сурет 16, қисық 3). Бұл жағдайларда

кірау сипаты тікелей және шағылысқан толқындардың араласуынан немесе ығысу нәтижесінде пайда болатын материалдың кернеулі-деформациялық күйімен анықталады.

Басы үшбұрышты профильге жақын толқын шағылысқан кезде (сурет. 1, б, қисық 4*), созылатын тангенциалды кернеулер диаграммасы қатты материалдың барлық дерлік аймағын жабады. Бұл жағдайлар үшін қарастырылған толқындық үлгіні қолдана отырып, шағылысқан толқынның бұзылу сипатына әсерін бағалауға және негізгі жарықтардың өнуінің ең ықтимал бағыттарын анықтауға болады.

Толқындық фронт $C_{cr} = c_w \cdot t$ пен $R_{cr} C_{cr}$ жарықшақтың қозғалмалы сағасы үшін кинематикалық қатынастардан қатты-сұйық шекарасынан шағылған толқынның аузына оралған кездегі оның ұзындығы l_{cr} болады, $l_{cr} = (2c_{cr} R_t - c_w c_{cr} t_n + c_w l_n) / (c_w + c_{cr})$ мұндағы t_n және l_n уақыт мезеті және қашықтық. сәйкесінше жарықшақ пайда болды.

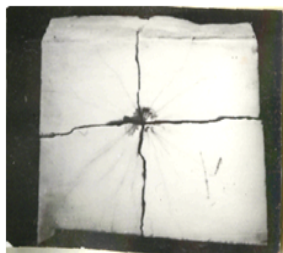
Егер материалдағы c_w бойлық толқынының жылдамдығымен c_{cr} радиалды жарықтарының өну жылдамдығын байланыстыратын эксперименттік деректер [10] негіз ретінде қабылданса және $c_{cr} = 0,4c_w$ қойылса, онда бұл қатынас $l_{cr} \approx 0,57R_t - 0,29c_w \cdot t_n + 0,71l_n$ түріне айналады.

Радиалды жарықшақ пайда болған қашықтық материалдың ұсақтау аймағының радиусына жақын екенін ескере отырып $l_n \approx 1-2$ мм, сипаттамалық мәндері $c_w \approx 3-6$ км/с және $t_n \leq 1-4$ мкс үшін $l_{cr} \approx 0,5R_t$ үшін аламыз.

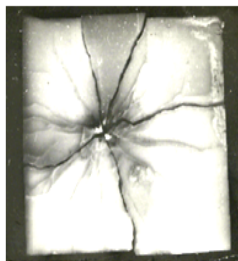
Осылайша, шағылысқан толқынның аузына келгенге дейін түзу толқындағы жарықшақтың тән ұзындығы арнадан жойылатын қатты дененің бетіне дейінгі қашықтықтың жартысына жақын шаманы құрайды. Қатты дененің шекарасынан шағылысқан толқын жарықтың одан әрі өсуіне шешуші әсер етеді. Оның жарықшақ аузына қайта оралуы созылу бұзылысы үшін қосымша жағдай жасайды және жарықшақ аузына іргелес аймақта энергия концентрациясын арттырады. Шағылысқан толқынның жарықшақтардың дамуына әсері оның басталуының кешігу уақыты t_n артқан сайын артады. Бұл l_{cr} қатынасынан туындайды. t_n жоғарылауы тікелей толқынның жарылу уақытының қысқаруына және сәйкесінше шағылысқан толқынның аузына оралған кезде пайда болатын l_{cr} жарықшақ ұзындығының қысқаруына әкеледі. Шағылысқан толқын, ең алдымен, диэлектриктің ең жақын бетіне дейін өсетін жарықшақтың аузына жетеді.

Толқын арнадан қатты дененің шекарасына дейінгі қашықтықты жауып $\Delta t = 1,5 R_t / c_w$ жарықшақтың аузына (l_{cr}) оралатын уақыт аралығы ең үнемді энергия шығару режимдерін іздеген кезде разряд арнасына энергия ағынының ұзақтығының жоғарғы шегі бола алады. Энергияны енгізу Δt ұзақтығынан асып кету иррационалды энергия шығынына әкеледі, өйткені осы уақыт аралығында материалда жойылуға қажетті кернеу-деформациялық күй

қалыптасады. L_{cr} және Δt үшін берілген бағалаулардан жоғары cw мәндерімен сипатталатын материалдардың үнемді бұзылуын жүзеге асыру үшін төмен индуктивті жоғары вольтты генераторларды қамтамасыз ететін «жылдам» разряд режимдері қажет, өйткені бұл материалдардың жойылу механизмін анықтайтын толқындық процестер өтпелі болып табылады.



а



б

2-сурет. Электрлік жарылыс кезінде қатты материалдың бұзылуының сипаттамалық суреті: а – энергияны енгізудің баяу режимі (ағымдағы тербеліс периоды 4,8 мкс); б – энергияны жылдам енгізу режимі (ағымдағы тербеліс периоды 2,2 мкс)

Сұйықтыққа сынған толқынның сипаттамалары (сурет. 1, а, Р қисығы) қатты денеде таралатын толқын параметрлерінен едәуір төмен және болашақта ескерілмеуі мүмкін.

Қарастырылған жағдай және бұзылу үлгісінің орындалған болжамы диэлектриктің шекараларына қатысты арнаның симметриялы орналасу нұсқасы үшін жарамды және 1, а [7] суреті бойынша қатты өткізбейтін материалдардың бұзылуын талдау үшін үлгі бола алады.

Электродтар бір бетке орналасса, бұзылу арнасы осы бетке жақын жерде өтеді және оның толқын динамикасына әсері және материалдың бұзылу механизмі маңызды болып шығады. Бұл жағдай бұрғылау, ойықтарды кесу және массивтен материалдың беткі қабатын алудың электр разрядтық технологияларына тән [1]. Электродтардың сәйкес орналасуы және электродаралық саңылауды жабу сәтіндегі арнаның траекториясы 1-суретте, б көрсетілген [7].

Беткі электржарылыстың алдыңғы нұсқадан негізгі айырмашылықтары толқын шағылысқан кезде бетіне іргелес материал қабатының деформациясының бір өлшемділігінің бұзылуымен байланысты. Қарастырылып отырған жағдайда шағылысқан толқынның тангенциалды

кернеулерімен тікелей толқынның радиалды кернеулерінің суперпозициясы мүмкін.

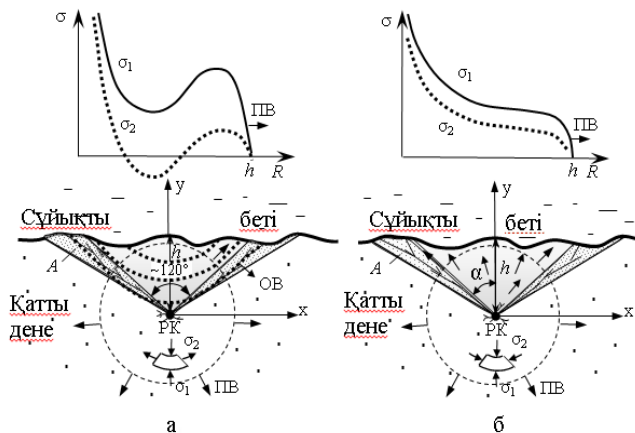
Шағылысу бетіне іргелес материал аймағында толқындық көріністің пайда болу сипаты толқынның параметрлерімен (оның пішінімен) оның бетіне шыққан кезде және беттің «кедір-бұдырларымен» анықталады. Толқын пішіні бетке жақындаған сайын өзгеретіндіктен, кернеулі деформацияланған күйдің нәтижесінде пайда болатын көрінісі диэлектрикке арнаны енгізу тереңдігіне де байланысты болады. Қабаттасқан электродтарды бар электрлік жарысылыс кезіндегі қатты дененің бұзылуы

Жазық шағылысу беті үшін модельдеу нәтижелерін талдау [11] разрядтың энергетикалық параметрлеріне байланысты толқындық процестің дамуының екі сипатты нұсқасын (3-сурет) және сәйкесінше екі мүмкін материалдық жойылу механизмді ажыратуға болатынын көрсетті. Төмен индуктивті генератормен энергияны жылдам енгізу ($T_{0.5}$ разрядты токтың жартылай периоды болған кезде тока $T_{0.5} \approx \pi\sqrt{LC} < 1$ мкс) $Wg < 20$ Дж кезінде де материалдың пластикалық деформация аймағымен қатар түзу толқында созылатын тангенциалды кернеулер аймағын құруға мүмкіндік береді (3-сурет, а). Толқын тараған сайын созылу кернеулері аймағының радиусы артады. Мұндай толқын радиалды T қималарында шағылысқан кезде, ерітіндінің бұрышы шамамен 100-120 құрайды, осы бөлімдерге параллель алаңдарда әрекет ететін созылу кернеулері ең үлкен болады. Бұл әсер тікелей және шағылысқан толқындардың суперпозициясымен түсіндіріледі, оларда тура толқындағы созылу кернеуі σ_2 және шағылған толқындағы σ_1 созылу кернеуі жинақталады, ал материалдың созылу беріктігінен асатын созылу кернеулері аймағы барған сайын жабады. материалдың үлкен бөлігі. Осының нәтижесінде жарықшақтардың пайда болуына ең қолайлы жағдайлар осы жерлерде пайда болады.

Разрядтық арнаға энергияның баяу түсуімен (разрядтық токтың жарты циклі $T_{0.5} \approx \pi\sqrt{LC} > 2-10$ мкс), жоғары энергия разрядтарына тән немесе арнаның шамалы тереңдігімен ($h \leq 4$ мм), толқындағы созылу кернеулерінің аймағы, оның пайда болу уақытында бос бетке шығуға уақыт жоқ. Қарастырылып отырған уақыт интервалындағы толқындағы кернеулер қысу күйінде қалады (3, б-сурет). Арнаның үстіндегі материалдың әсер етудің осы түріне реакциясы материалдың бір бөлігінің бетіне қарай қозғалысымен көрінеді. Ординат осіне α бұрышында орналасқан қозғалатын бөлікті және материалдың қозғалмайтын массасын шектейтін A қималарында (3, б-сурет) ығысу деформациялары орын алады.

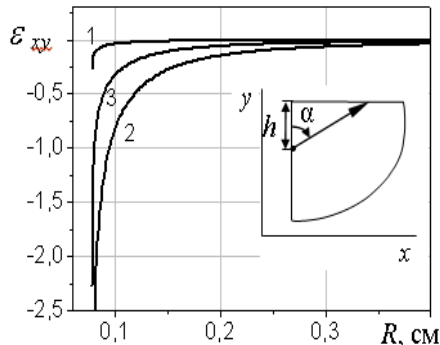
Олар сыни мәндерге жеткенде, бұл бөліктерде жарықтар пайда болады, ал арнаның үстінде орналасқан материалдың бір бөлігі бос беттің бағыты бойынша жүзеге асырылады. Нәтижесінде фланг тәрізді шұңқырлы

қуыс пайда болады. Бұл жағдайлардағы сәтсіздік тікелей толқындағы ең жоғары тангенциалды кернеулерден туындаған еху, қысу және ығысу деформацияларына байланысты болады. Бұл жағдайда шағылысқан толқындардың рөлі екінші болып табылады.



Сурет 3 – Арнаға перпендикуляр кесінділер (б), (в): h – арнаның ену тереңдігі; РК – разрядты арна; ПВ – түзу толқын; ОБ – диэлектрик шекарасынан шағылған толқын; σ_1 , σ_2 – радиалды және тангенциалды кернеулер; А – жарықтар пайда болу ықтималдығы жоғары аймақтар

4-суретте үш түрлі секцияда орналасқан қатты орта элементтеріндегі ε_{xy} ығысу деформацияларының есептелген мәндері көрсетілген. Алынған ε_{xy} үлестірімдерін салыстыру ε_{xy} ең жоғары мәндеріне $R = \sqrt{x^2 + y^2}$ бойымен ОУ осіне қатысты $50^\circ - 60^\circ$ ретті бұрыштарда орналасқан кесінділерде қол жеткізілетінін көрсетеді. Демек, энергияның баяу енгізілуімен дәл осы бөлімдерде материалдың жаншу аймағын бетке жақын байланыстыратын жарықтар пайда болады.



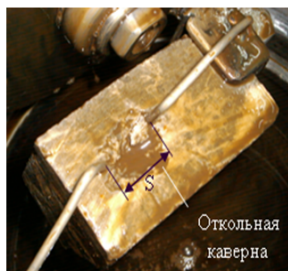
Сурет 4 – $t=2$ мкс кезіндегі ығысу деформациясының R қашықтыққа тәуелділігі, $h=6$ мм; $C=20$ нФ, $L=5$ мкГн, $U_0=280$ кВ, α : 1) 30° , 2) 60° , 3) 80°

Нәтижелер мен талқылаулар

Процестің қарастырылған нұсқаларын салыстыру көрсеткендей, разряд режимдерінің, материалдағы толқындық суреттердің, бұзылу механизмдерінің (үзіліс, сдсу) айырмашылығына қарамастан, бұл ретте пайда болған сынған қақпақтар пішіні мен көлемі бойынша жақын болады. Физикалық тәжірибелерде шөгу көбінесе бір немесе бірнеше ұқсас, қабыршақты пішінді кесектер түрінде болатынын ескеру керек (5-сурет).



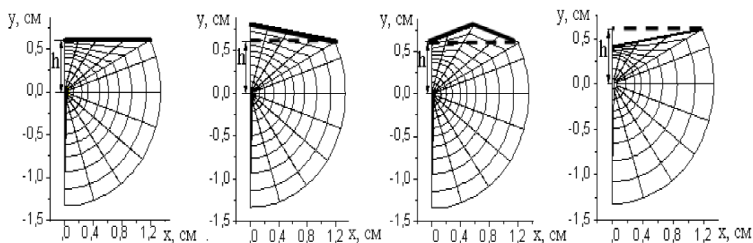
а



б

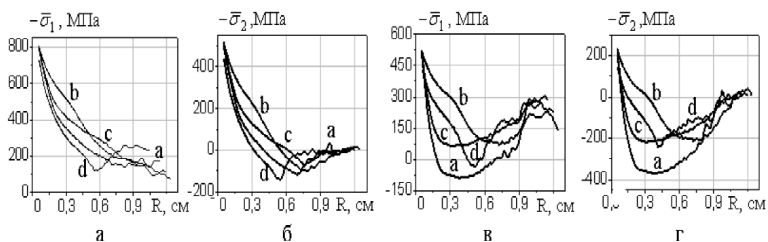
Сурет 5 – Эксперименталды түрде алынған құмтас (а) пен әктастағы (б) электрлік жарылыс кезіндегі алынған шұңқыр қуысы

Алынған сыну үлгісіне нақты жағдайларда кедір-бұдыр және біркелкі емес шағылысу бетінің пішіні әсер етеді. Жүргізілген есептеулерде бет пішіндерінің төрт нұсқасы қарастырылды (6-сурет).



Сурет 6 – Шағылысу беттерінің пішіндері
(есептелген аймақтардың оң сегменттері)

Симметрияға байланысты есептеу облыстарының тек оң жақ сегменттері көрсетіледі. Беткі бұзылулардың сипаттамалық өлшемдері $h/2$ аспады. R бойымен OY осіне қатысты $\alpha=60^\circ$ бұрышта орналасқан қималардағы сәйкес кернеу диаграммалары (А аудандарында, 3-сурет) 7-суретте көрсетілген.



Сурет 7 – $t=2$ мкс кезіндегі негізгі радиалды және тангенциалды кернеулердің диаграммалары, $U_0=280$ кВ а), б) $C=20$ нФ, $L=25$ мкГн; в), г) $C=5$ нФ, $L=5$ мкГн. Әріптер 6-суреттегі шағылысу беттерінің пішіндеріне сәйкес келеді

Қуатты энергетикалық разряд режимі кернеу өрісін тудырады, ол өз кезегінде шағылысу бетінің пішініне тәуелді болмайды. (сурет 7, а, б). Демек, пайда болған қуыстар дерлік бірдей болады. Бұл жағдайда олардың қалыптасу механизмі толқындағы энергияның айтарлықтай асып кетуімен жүзеге асырылатынын ескеруіміз керек. Төменгі энергия кезінде, сондай-ақ арнаға энергия енгізудің «жылдам» режимдері, созылу тангенциалды кернеулерінің деңгейі және сәйкес аймақтардың өлшемдері шағылысу бетінің пішіні үшін маңыздырақ болады (7-сурет, в, г). Бұл пайда болған қуыстың көлемі мен оның пішіні де толқынның бетінен шағылысу жағдайларына байланысты болады дегенді білдіреді. Дегенмен, тегіс емес беттің өзінде

істен шығу механизмі аз энергияны қажет етеді, өйткені ол созылу кернеуінен туындайды.

Ығысуды бұзу механизмі генератордың энергиясының жоғарылауымен, разряд ұзақтығының жоғарылауымен және арна тереңдігінің аздығымен негізгі тізбектің L , C параметрлерін және арнаның h тереңдігін өзгерту кезінде болып табылатыны анықталды.

Қорытынды

Қатты диэлектрлік материалдардағы электрлік жарылыспен жүретін толқындық процестерді модельдеу нәтижесінде мыналар анықталды:

энергияның «жылдам» кірісі бар электрлік жарылыстың негізгі зақымдаушы факторы тікелей толқында пайда болатын және толқын диэлектрик шекарасынан шағылған кезде күшейетін созылу тангенциалдық кернеулер аймағы болып табылады;

жер бетіне жақын электрлік жарылыс болған жағдайда диэлектриктердің бұзылуының екі ықтимал механизмі анықталды. Арнаға энергияны енгізудің неғұрлым энергетикалық, баяу режимі ығысу деформацияларына байланысты материалдың бұзылуын ынталандырады. Бұл жағдайда жарықтардың пайда болу механизмі шағылысу бетінің пішініне байланысты емес. Аз индуктивті генератормен арнаға энергияны аз энергетикалық, жылдам енгізу бос бетке түсетін толқынның және одан созылу толқыны ретінде шағылысқан толқынның интерференциясы нәтижесінде пайда болатын созылу тангенциалдық кернеулері арқылы кавернаның пайда болуын қамтамасыз етеді. Шағылысу бетінің пішінінің беткі қабаттың кернеулі-деформацияланған күйіне әсері және бұл жағдай үшін кавернаның өлшемдері айтарлықтай.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Зерттеулер Қазақстан Республикасы ғылым және жоғары білім Министрлігі, ғылым Комитетінің қаржыландырылуымен (AP09058149 гранты. Темір-бетон бұйымдары мен қатты қалдықтардың электр разрядты бұзылуын оларды өңдеу мен кәдеге жаратудың мобильді кешенін әзірлеу үшін зерттеу) С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінде жүргізілді.

КОЛДАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Курец, В. И., Усов, А. Ф., Цукерман, В. А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов. – Апатиты. Изд-во Кольского научного центра РАН. 2002. – 324 с.

2 Блазнин, Б. С., Кожушко, А. А., Лагунов, В. А., и др. Разрушающие факторы при воздействии на твердое тело искрового разряда. // Исследование

действия взрыва при подземной разработке месторождений. – Апатиты. 1973. – С. 166 – 171.

3 **Bluhm H, Frey W, Giese, H, Hoppe, P, Schultheis, C, Strassner, R.** Application of pulsed HV discharges to material fragmentation and recycling. IEEE Trans Dielectr Electr Insul. – 2000. 7:625–636

4 **Буркин, В. В.** Особенности взрывного воздействия при импульсном электрическом пробое прочных сред // Физика горения и взрыва. – 1985. – № 4. – С. 113–118.

4 **Буркин, В. В., Кузнецова, Н. С., Лопатин, В. В.** Волновая динамика электровзрыва в твердых диэлектриках // Журнал технической физики. – 2009. – Т. 79. – № 5. – С. 42–48.

5 **Burkin, V. V., Kuznetsova, N. S., Lopatin, V. V.** Characteristics of Electro Burst in Solids // Изв. вузов. Физика, 2006. – №10. Приложение. – С. 192–195.

6 **Burkin, V. V., Kuznetsova, N. S., Lopatin, V. V.** Dynamics of electro burst in solid dielectrics. I. Power characteristics of electroburst // Physica D: Nonlinear Phenomena, 2008.

7 **Wilkins, M. L.** Fundamental methods in hydrodynamics. V. 3 Academic Press, New York and London, 1964.

8 **Николаевский, В. Н.** Динамическая прочность и скорость разрушения // В сб. Удар, взрыв и разрушение. – М. : Мир. 1981. – С. 166–203.

8 **Семкин, Б. В., Усов А. Ф., Курец В. И.** Основы электроимпульсного разрушения материалов. – СПб. : Наука, 1995. – 276 с.

9 **Буркин, В. В., Кузнецова, Н. С., Лопатин, В. В.** Моделирование электровзрыва в твердых диэлектриках в электроразрядных технологиях // Известия ТПУ. – 2006. – №2. – С. 70–75.

REFERENCES

1 **Kures, V. Ī., Usov, A. F., Sukerman, V. A.** Elektroimpulsnaia dezintegracia materialov. [Electric pulse disintegration of materials] // Apatity. Īzd-vo Kōl'skogo nauchnogo sentra RAN. –2002. – 324 p.

2 **Blaznin. B. S., Kojuško. A. A., Lagunov. V. A.,** i dr. Razrušaiušie faktory pri vozdeistvii na tverdoe telo iskrovogo razrāda. [Destructive factors when a solid body is exposed to a spark discharge] // Apatity. - Īssledovanie deistvia vzryva pri podzemnoi razrabotke mestorojdeni. – 1973. P. 166–171.

3 **Bluhm. H, Frey. W, Giese. H, Hoppe. P, Schultheis. C, Strassner. R.** Application of pulsed HV discharges to material fragmentation and recycling. // IEEE Trans Dielectr Electr Insul. – 2000. 7:625–636.

4 **Burkin V. V.** Osobennosti vzryvnogo vozdeistvia pri impulsnom elektricheskom probloe prochnyh sred. [Features of explosive effects during pulsed

electrical breakdown of durable media] // Fizika gorenia i vzryva. – 1985. – № 4. – P. 113–118.

5 **Burkin. V. V., Kuznesov, N. S., Lopatin, V. V.** Volnovaia dinamika elektrovzryva v tverdyh dielektrikah. // [Jurnal tehnicheckoi fiziki]. // – 2009. – T.79. – № 5. – 3. 42–48.

6 **Burkin V. V., Kuznetsova N. S., Lopatin V. V.** Characteristics of Electro Burst in Solids. // [Izv. výzov. Fızıka,] // 2006. – №10. Prılojenie. – P. 192–195.

7 **Burkin V. V., Kuznetsova N. S., Lopatin V. V.** Dynamics of electro burst in solid dielectrics. Power characteristics of electroburst. // [Physica D: Nonlinear Phenomena]. // 2008.

8 **Wilkins, M. L.** Fundamental methods in hydrodynamics. V. 3, Academic Press, New York and London, 1964.

9 **Nikolaevski, V. N.** Dinamicheskaia prochnost i skorost razruşenia. [Dynamic strength and fracture rate] // Vsb. Udar, vzryv i razruşenie. – M.: Mir. 1981. P. 166–203.

10 **Semkin B. V., Usov, A. F., Kures, V. İ.** Osnovy elektroimpulsnogo razruşenia materialov. [Basics of electric pulse destruction of materials] // SPb.: Nauka, 1995. – 276 p.

11 **Burkin V. V., Kuznesova N. S., Lopatin V. V.** Modelirovanie elektrovzryva v tverdyh dielektrikah v elektrorazrıdnyh tehnologıah. [Modeling of electric explosion in solid dielectrics in electric discharge technologies] // İzvestia TPU. – 2006. – № 2. – P. 70–75.

Басып шығаруға 28.11.23 қабылданды.

**H. C. Кузнецова¹, E. Ж. Сарсикеев², A. К. Оразбекова³, Г. О. Сулейменова⁴, A. К. Сагалбаева⁵*

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Российская Федерация, г. Томск;

^{2,3,4}казахский агротехнический исследовательский университет имени Сакена Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана.

⁵«Intek» АО Республики Казакстан, Астана қ.

*e-mail: oka-a7@mail.ru

Принято к изданию 28.11.23.

ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЗДЕЙСТВИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ НА ТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПРИ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОМ РАЗРУШЕНИИ

Электроразрядная технология разрушения железобетонных изделий является перспективной альтернативой механическим способам утилизации твердых материалов, которые имеют ряд экологических недостатков. В данной работе рассмотрена волновая динамика напряженно-деформированного состояния твердого материала при формировании канала плазменного разряда под воздействием электрического взрыва. В рамках физико-математической модели, непротиворечиво описывающей работу цепи разряда, расширения канала разряда и генерации упругопластических волн, рассмотрены различные механизмы образования отверстия в материале – малая энергоемкость, осуществляется за счет отраженных от поверхности волн и требует большая энергия, при которой трещины в слое функционируют под воздействием прямых волн сжимающих напряжений; определены наиболее эффективные условия утилизации обработанного материала. Показана связь параметров выходной цепи с напряженно-деформированным состоянием материала и характером разрушения, оценено влияние формы поверхности и параметров контура на характер возможного разрушения. Таким образом, установлено, что основным разрушающим фактором электровзрыва при «быстром» вводе энергии является область растягивающих тангенциальных напряжений. При «медленном» режиме ввода энергии разрушение происходит преимущественно за счет сдвиговых деформаций, а при быстром вводе энергии – за счет растягивающих тангенциальных напряжений. Результаты работы могут быть полезны при проектировании энергетических установок для утилизации железобетонных изделий и пород электроразрядным или комбинированным способами.

Ключевые слова: бетон, электрический взрыв, импульсный генератор, разрядный канал, волновые процессы, разрушение, деформация.

N. S. Kuznetsova¹, E. Zh. Sarsikeev², A. K. Orazbekova³, G. O. Suleimenova⁴,
A. K. Sagalbaeva⁵

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Russian Federation, Tomsk.

^{2,3,4}Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin,
Republic of Kazakhstan, Astana.

⁵JSC «Intek» Republic of Kazakhstan, Astana

Accepted for publication on 28.11.23.

CHARACTERISTICS OF THE IMPACT OF SHOCK WAVES ON SOLID MATERIALS DURING ELECTRIC EXPLOSIVE FRACTURE

Electric discharge technology for the destruction of reinforced concrete products is a promising alternative to mechanical methods for recycling solid materials, which have a number of environmental disadvantages. This paper examines the wave dynamics of the stress-strain state of a solid material during the formation of a plasma discharge channel under the influence of an electric explosion. Within the framework of a physical and mathematical model that consistently describes the operation of the discharge circuit, expansion of the discharge channel and generation of elastoplastic waves, various mechanisms for the formation of holes in the material are considered – low energy intensity, carried out due to waves reflected from the surface and require high energy at which cracks in the layer function under the influence of direct waves of compressive stress; the most effective conditions for recycling the processed material have been determined. The connection between the parameters of the output circuit and the stress-strain state of the material and the nature of destruction is shown, and the influence of the surface shape and contour parameters on the nature of possible destruction is assessed. Electric discharge technology for the destruction of reinforced concrete products is a promising alternative to mechanical methods for recycling solid materials, which have a number of environmental disadvantages.

Keywords: concrete, electric explosion, pulse generator, discharge channel, wave processes, destruction, deformation.

Теруге 28.11.2023 ж. жіберілді. Басуға 29.12.2023 ж. кол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб 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 №4175

Сдано в набор 28.11.2023 г. Подписано в печать 29.12.2023 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

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

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4175

«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