

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 3 (2022)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано
Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/KWJR9225>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,342

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

***А. А. Каменов¹, А. В. Богомолов², Т. А. Рыспаев³,
П. О. Быков⁴, М. М. Суюндиков⁵**

^{1,2,4,5}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

³Анхальт қолданбалы ғылымдар университеті, Германия

АНОДТАРДЫ БӨЛШЕКТЕУ КЕЗІНДЕГІ ШОЙЫН ҚҰЙМАСЫН ЖҮКТЕУДІ ИМИТАЦИЯЛЫҚ ҮЛГІЛЕУ

Қазіргі уақытта «Қазақстан электролиз зауыты» АҚ анодомонтаж өндірісі цехы күйіктерді бөлшектегеннен кейін анодұстағыштардың болат ниппельдерінен шойынды толық емес алу мәселесіне тап болды.

Мақалада КОМПАС-3D үшін АРМ FEM бағдарламалық ортасында шойын құймасын жүктеуді имитациялық үлгілеу нәтижелері келтірілген. Шойын құймасы алюминий электролизерлері үшін анодтарды құрастыруда қолданылады. Жүргізілген зерттеулердің мақсаты анодтарды бөлшектеу процесінде шойын құймасының гидравликалық пресс арқылы алынған кезде кернеулі-деформацияланған күйін анықтау болды. Өндірістік деректерді ескере отырып, шойын құймасын бұзу (алып тастау) процесі кезіндегі жүктеуді имитациялық үлгілеу үшін екі 3D модель салынды: «саңылауы бар шойын құймасы» және «түбі құйылған шойын құймасы». Бұл іс жүзінде анод ұстағыштың емігі әрдайым тығыз орнатылмайтындығына және ниппель мен анодтың көмір блогы арасында қашықтық пайда болатындығына байланысты. Шын мәнінде, пресстің шойын құймасына қолданылатын күш құйманың диаметрі мен биіктігіне байланысты және 1 цилиндрге сәйкес күш 4000 кН жетуі мүмкін. Жүргізілген үлгілеу нәтижесінде саңылаусыз шойын құймасына гидравликалық пресстің нуансоны жасаған қысымы шойын құймасының бүкіл бетіне біркелкі бөлінетіні анықталды. Тиісінше, бұл жағдайда гидропресс қысымы анод ұстағыштың емігінен шойын құймасын толығымен бұзу және толығымен алып тастау үшін жеткіліксіз.

Кілтті сөздер: анодты монтаждау өндірісі, шойын, үлгілеу, механикалық қасиеттері, КОМПАС-3D.

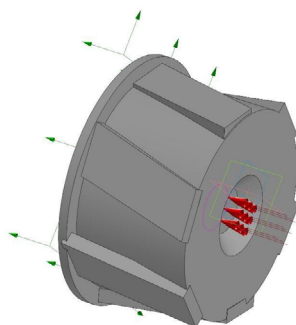
Кіріспе

Қазіргі уақытта «Қазақстан электролиз зауыты» АҚ анодомонтаж өндірісі цехы күйіктерді бөлшектегеннен кейін анодұстағыштардың болат ниппельдерінен шойынды толық емес алу мәселесіне тап болды. Анод ұстағыштар күйіктерді бөлшектегеннен кейін шойын құймасын алу станциясына түседі. Шойын пресс әрқашан шойынның құймасын ниппельден алып тастамайды. Кәсіпорын қызметкерлері шойынды алып тастап, ниппельді қолмен тазартуға мәжбүр.

Бұл мәселе шойын құймасын алып тастауды жақсарту үшін техникалық шешімдерді қажет етеді.

Шойынды алу бір немесе екі рет жүргізіледі [1]. Әрбір қабылдау кезінде қарнақ түсіріледі және қысқыш қалып арқылы тік күйінде еркін бекітіледі. Шойын бір уақытта екі ниппельден алынады. Егер анод ұстағышта 4 ниппель болса, келесі ниппельдер жұбы үшін барлық операциялар қайталанады. Ниппельдердегі шойын құймасы пневматикалық пуансон арқылы тірекке басылады және ұсақталады.

Зерттеу әдістері мен материалдары



Сурет 1 – Түбі құйылған шойын құймасының 3D үлгісі

Имитациялық үлгілеу КОМПАС-3D v20.0.0.12 үшін АРМ FEM бағдарламалық ортасында орындалды. КОМПАС-3D үшін АРМ FEM жүйесінің есептік өзегі Экологиялық, технологиялық және атомдық қадағалау жөніндегі Федералдық қызмет (Ростехнадзор), «ЯРБ НТЦ» ФБУ берген 18.04.2013 ж. № 330 аттестациялық паспорты бар «АРМ Structure3D ақырлы-элементтік бағдарламалық жүйесі» бағдарламалық құралы болып табылады.

1 кестеде үлгілеу сынағын жүргізу үшін шойынның бастапқы сипаттамалары көрсетілген [2–5].

Кесте 1 – Шойынның сипаттамалары

Қасиеті	Өлшем бірлігі	Мәні
Аккыштық шегі	Н/мм ²	230
Серпімділік модулі қалыпты	Н/мм ²	120000
Пуассон Коэффициенті		0.285
Тығыздығы	кг/мм ³	0.000007
Сызықтық кенеюдің температуралық коэффициенті	1/°C	0.000011
Жылу өткізгіштігі	Вт/(°C мм)	0.000045
Сығылу кезіндегі беріктік шегі	Н/мм ²	260
Беріктік шегі (уақытша келергі)	Н/мм ²	260

Созылу кезіндегі төзімділік шегі	Н/мм ²	140
Бұралу кезіндегі төзімділік шегі	Н/мм ²	120

Зерттеу аясында имитацияға арналған екі 3D модель салынды: «саңылауы бар шойын құймасы» және «түбі құйылған шойын құймасы». Гидравликалық пресс пуансонының шойын құймасына және анод ұстағыш ниппеліне тигізетін қысымы үлгінің әрқайсысына еліктелді..

Сынақ кезінде қолданылатын жүктеме мөлшері максималды 4000 кН. Күш шамасы 1 цилиндр негізінде таңдалды.

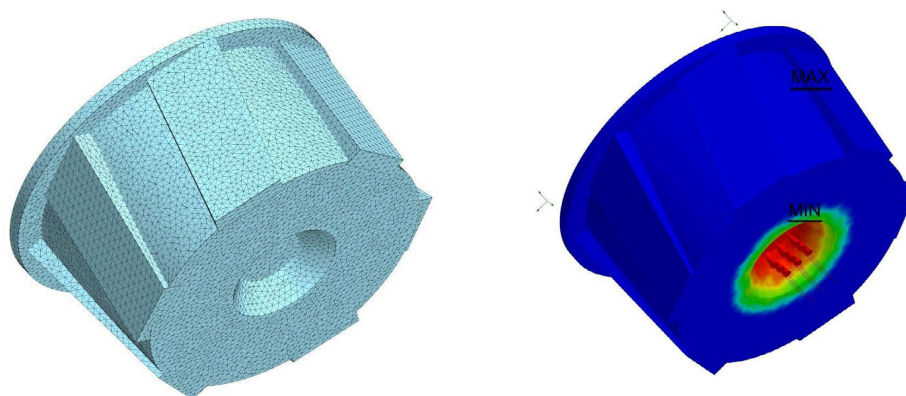
Нәтижелер және оларды талқылау

Осы зерттеу аясында соңғы элементтер әдісі бойынша шойын құймасының ниппельден алу кезіндегі әрекетін математикалық имитациялық үлгілеу орындалды [6–8]. Ақырлы-элемент торын бөлудің параметрлері мен нәтижелері 2 кестеде келтірілген.

Кесте 2 – Ақырлы-элемент торын бөлудің параметрлері мен нәтижелері

Атауы	Мәні
Элемент түрі	4-түйінді тетраэдрлер
Элемент жағының максималды ұзындығы (мм)	5
Бетіндегі максималды қоюлану коэффициенті	1.2
Көлемі бойынша ыдырау коэффициенті	1.5
Ақырлы элементтер саны	60206
Түйіндер саны	15577

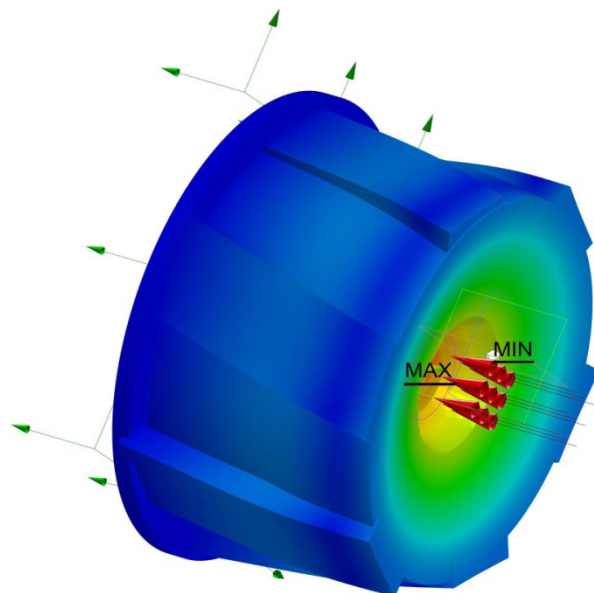
Есептік үлгі (2 сурет) көмір блогына анод ұстағышты орнату процесінде шойын құймасының нақты қалыптасу нұсқаларын ескереді. Үлгі көмір блогының шығыңқы жеріне толық жабыспаған жағдайда ұтас түбімен және саңылаумен жасалды.



Сурет 2 – Есептік үлгі және жүктеме аймағы

Көмір блогында бар шығынқы есебінен шойын құймасында қажетті саңылауы болға кезде (мінсіз жағдайда), гидравликалық пресстің пуансоны шойын құймасынан ниппельді еркін, қосымша күш жұмсамай сығып шығарады.

Анод ұстағыштың әр ниппельдің ұзындығы әр түрлі болғандықтан, ниппель мен көмір блогының шығынқы жері арасында қашықтық пайда болады. Осыған байланысты іс жүзінде саңылауы құйылған жағдайлары жиі кездеседі (3 сурет).



Сурет 3 – Саңылауы құйылған жағдайда шойын құймасы әрекетін имитациялық үлгілеу нәтижелері

Бұл жағдайда материалдағы рұқсат етілген кернеу деңгейі айтарлықтай артады. Имитациялық үлгілеу гидравликалық пресс соққысының қысымы шойын құймасының түбінің бүкіл бетіне біркелкі бөлінетінін көрсетеді. Материалдың қалыңдығының өсуі шойын құймасының бұзылуына жол бермейді. Нәтижесінде шойын құймасы алынып тасталмайды немесе анод ұстағыштың ниппелінен толығымен алынып тасталмайды.

Қорытынды

Жүргізілген имитациялық сынақтар кезінде шойын құймасының саңылауы құйылған кезінде гидравликалық пресс пуансоны көрсететін қысым шойын құймасының түбінің бүкіл бетіне біркелкі бөлінетіні анықталды. Осыған байланысты шойын құймасының түбіндегі пуансонның қысымы оны толығымен бұзу және ниппельден түсіру үшін жеткіліксіз.

Бұл мәселені шешу үшін көлденең бетке қатысты анод ұстағыштардың ниппельдерінің ұзындығын бақылау және бір траверстегі ниппельдердің биіктігінің айырмашылығына 5 мм-ден артық жол бермеу ұсынылады..

Анод ұясындағы шығынқы жердің геометриялық өлшемдерін (биіктігі, диаметрі) өзгерту, шығынқы жерлерін қосу ұсынылады. Бұл сыну күшін азайту

үшін жаңа қысым шоғырлану орталықтарын құруға ғана емес, сонымен қатар электр өткізгіштігін жақсартуға және электр шығынын азайтуға мүмкіндік береді..

Осыған байланысты, бұдан әрі жоғарыда көрсетілген ұсыныстарды ескере отырып, қосымша сынақтар жүргізу ұсынылады.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Янко, Э. А.** Аноды алюминиевых электролизеров / Э. А. Янко. – М. : Руды и металлы, 2001. – 672 с.

2 **Шерман, А. Д.** Чугун: Справ, изд. / Под ред. А. Д. Шермана и А. А. Жукова. – М. : Metallurgiya, 1991. – 576 с.

3 **Баландин, Г. Ф., Канунников, Н. К.** Структурная номограмма чугуна // Литейное производство. – 1978. – № 8. – С. 6–7.

4 **Гиршович, Н. Г.** Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. – М. : Л. Машиностроение, 1966. – 564 с.

5 **Гиршович, Н. Г.** Справочник по чугунному литью / Под ред. Н. Г. Гиршовича. 3-е изд. JL: Машиностроение, 1978. – 758 с.

6 **Jeddi, E., Marceu, D., Kiss, L. I., St-Georges, Lyne, Laroche, D., Hacini, L.** Thermo-electromechanical investigation of voltage drop in anode assembly using finite element method // Blucher Mechanical Engineering Proceedings. – 2014. – № 1.

7 **Fortin, H., KandeV, N., Fafard, M.** FEM analysis of voltage drop in the anode connector induced by steel stub diameter reduction // Finite Elements in Analysis and Design. – 2012. – № 52. – P. 71–82.

8 **Richard, D., Goulet, P., Trempe, O., Dupuis, M., Fafard, M.** Challenges in stub hole optimization of cast iron rodded anodes // The Minerals, Metal & Material Society. – 2009.

9 **Мирпочаев, Х. А., Азизов, Б. С., Муродиён, А. Ш.** Усовершенствование конструкции анодных токоподводов – смонтированных обожженных анодов электролизера для производства алюминия // Доклады академии наук республики Таджикистан. – 2008. – № 10. – С. 765–769.

10 Патент RU 2187573 Способ замены анодов в алюминиевом электролизере – опубл.: 20.08.2002.

REFERENCES

1 **Yanko, E. A.** Anody alyuminiyevykh elektrolizerov / E. A. Yanko. – Moscow : Rudy i metally, 2001. – 672 p.

2 **Sherman, A. D.** CHugun: Sprav, izd. / Pod red. A. D. Shermana i A. A. Zhukova. Moscow : Metallurgiya, 1991. – 576 p.

3 **Balandin, G. F., Kanunnikov, N. K.** Strukturnaya nomogramma chuguna // Litejnoe proizvodstvo. – 1978. – № 8. – S. 6–7.

4 **Girshovich, N. G.** Kristallizaciya i svojstva chuguna v otlivkah. Moscow : L. Mashinostroenie, 1966. – 564 p.

5 **Girshovich, N. G.** Spravochnik po chugunному lit'yu / Pod red. N. G. Girshovicha. 3-e izd. – JL : Mashinostroenie, 1978. – 758 p.

6 **Jeddi, E., Marceu, D., Kiss, L. I., St-Georges, Lyne, Laroche, D., Hacini, L.** Thermo-electromechanical investigation of voltage drop in anode assembly using finite element method // Blucher Mechanical Engineering Proceedings. – 2014. – № 1.

7 **Fortin, H., Kandeв, N., Fafard, M.** FEM analysis of voltage drop in the anode connector induced by steel stub diameter reduction // Finite Elements in Analysis and Design. – 2012. – № 52. – p. 71–82.

8 **Richard, D., Goulet, P., Trempe, O., Dupuis, M., Fafard, M.** Challenges in stub hole optimization of cast iron rodded anodes // The Minerals, Metal & Material Society. – 2009.

9 **Mirpochaev, H. A., Azizov, B. S., Murodiyov, A. Sh.** Uovershenstvovanie konstrukcii anodnyh tokopodvodov – smontirovannyh obozhzhennyh anodov elektrolizera dlya proizvodstva alyuminiya // Doklady akademii nauk respublikii Tadzhiкistan. – 2008. – № 10. P. 765–769.

10 Patent RU 2187573 Sposob zameny anodov v alyuminiyevom elektrolizere – opubl.: 20.08.2002.

Материал баспаға түсті 16.09.22.

***А. А. Каменов¹, А. В. Богомолов², Т. А. Рыспаев³, П. О. Быков⁴,
М. М. Суюндиков⁵**

^{1,2,4,5}Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

³Университет прикладных наук Анхальта, Германия;

Материал поступил в редакцию 16.09.22.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕНИЯ ЧУГУННОЙ ЗАЛИВКИ В ПРОЦЕССЕ ДЕМОНТАЖА АНОДОВ

В настоящее время цех анодомонтажного производства АО «Казахстанский электролизный завод» столкнулся с проблемой неполного извлечения чугуна из стальных шипелей анодоносителей после демонтажа ожогов.

В статье приведены результаты имитационного моделирования нагружения чугунной заливки в программной среде АРМ FEM для КОМПАС-3D. Чугунная заливка применяется при монтаже анодов для электролизеров алюминиевого производства. Целью проведенных исследований было определение напряженно-деформированного состояния чугунной заливки в момент ее снятия гидравлическим прессом в процессе демонтажа анодов. С учетом производственных данных для имитации нагрузки оказываемой в процессе разрушения (снятия) чугунной заливки были построены две 3D

модели: “чугунная заливка с отверстием” и “чугунная заливка с залитым дном”. Это связано с тем, что на практике ниппель анододержателя не всегда устанавливается плотно и образуется зазор между ниппелем и угольным блоком анода. Фактически усилие, которое нужно приложить к прессу, зависит от диаметра и высоты заливки и из расчета на 1 цилиндр может достигать 4000 кН. В результате проведенного моделирования выявлено, что при чугунной заливке без отверстия давление, которое оказывается пуансоном гидравлического пресса распределяется равномерно по всей поверхности чугунной заливки. Соответственно, давления гидропресса в этом случае недостаточно для гарантированного разрушения и полного снятия чугунной заливки с ниппеля анододержателя.

Ключевые слова: анодомонтажное производство, чугун, моделирование, механические свойства, КОМПАС-3D.

**A. Kamenov¹, A. Bogomolov², T. Ryspaev³, P. Bykov⁴, M. Suyundikov⁵*

^{1,2,4,5}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

³Anhalt University of Applied Sciences, Germany.

Material received on 16.09.22.

SIMULATION MODELING OF LOADING OF CAST IRON CASTING IN THE PROCESS OF DISMANTLING ANODES

Currently, the anode montage production workshop of JSC "Kazakhstan electrolysis plant" is faced with the problem of incomplete removal of cast iron from steel nipples of anode holders after dismantling burns.

The article presents the results of simulation modeling of the loading of cast iron casting in the APM FEM software environment for COMPASS-3D. Cast-iron casting is used in the installation of anodes for electrolyzers of aluminum production. The purpose of the research was to determine the stress-strain state of the cast iron casting at the time of its removal by a hydraulic press during the dismantling of the anodes. Taking into account the production data, two 3D models were built to simulate the load exerted during the destruction (removal) of the cast-iron casting: "cast-iron casting with a hole" and "cast-iron casting with a filled bottom". This is because in practice, the anode holder nipple is not always installed tightly and a gap is formed between the nipple and the carbon block of the anode. The force that needs to be applied to the press depends on the diameter and height of the filling and, based on 1 cylinder, can reach 4000 kN. As a result of the simulation, it was revealed that with cast-iron casting without a hole, the pressure exerted by the punch of the hydraulic press is distributed evenly over the entire surface of the cast-iron casting. Accordingly, the pressure of the hydraulic press, in this case, is not enough to guarantee the destruction and complete removal of the cast-iron filling from the nipple of the anode holder.

Keywords: anode production, cast iron, modeling, mechanical properties, COMPASS-3D.

Теруге 16.09.22 ж. жіберілді. Басуға 30.09.22 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 11,05 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 3998

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 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

nitk.tou.edu.kz