

**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

№ 1 (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/TFZY8989>

**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

МРНТИ 53.49.19

<https://doi.org/10.48081/PCTN7927>**\*В. В. Артамонов**СУ «Леноргэнергогаз» ОАО «Оргэнергогаз»,  
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург**ПОЛУЧЕНИЕ РЕПЛИК ДЛЯ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТОДОМ ЦЕМЕНТАЦИИ**

*В работе исследована технология получения медных реплик методом цементации из растворов сульфата меди  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , серной кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в присутствии поверхностно-активного вещества тиомочевины  $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$  для проведения неразрушающего металлографического контроля, действующего энергетического и нефтегазового оборудования.*

*Проведены планированные опыты по получению медных реплик за счет реакции контактного обмена (цементации) на поверхности стального шлифа. В результате этих опытов получено уравнение регрессии, показывающее зависимость параметра оптимизации – качество медной реплики – от состава цементирующего раствора. Методом крутого восхождения определен оптимальный состав раствора, обеспечивающий осаждение на поверхности стального шлифа медной реплики, которая адекватно отображает исследуемую микроструктуру.*

*В качестве независимых переменных (факторов) в уравнении регрессии выбраны концентрации  $X_1 - \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $X_2 - \text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $X_3 - (\text{NH}_2)_2\text{CS}$ , где  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  – натуральные значения факторов, г/л, функцией отклика  $Y$  является часть поверхности реплики площадью  $1 \text{ см}^2$ , точно и адекватно воспроизводящая микроструктуру шлифа.*

*Анализ полученного уравнения регрессии показывает, что наибольшее влияние на функцию отклика оказывает концентрация  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , в несколько меньшей степени влияет концентрация  $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$ , и менее всего – концентрация  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .*

*Ключевые слова: металлография, неразрушающий контроль, медная реплика, цементация, сталь.*

**Введение**

Контроль микроструктуры действующего энергетического и нефтегазового оборудования возможен двумя способами: традиционной металлографией и с применением металлических и неметаллических реплик [1–5].

Контроль микроструктуры металла наиболее напряженных узлов дорогостоящего теплоэнергетического и газотранспортного оборудования

проводят без вырезки образцов, т.е. неразрушающими методами. Примерами таких исследований являются работы [5–10].

Основополагающим документом, регламентирующим порядок контроля и продления срока службы основных элементов теплоэнергетического оборудования, является типовая инструкция [2–4]. Эта инструкция содержит перечень обязательных к исполнению нормативных документов, среди которых значатся и рекомендации по неразрушающему контролю микроструктуры посредством реплик (оттисков). Согласно [2–4] материалом реплики–оттиска служит полистирол.

Существенным недостатком полимерных реплик является низкая отражательная способность при изучении их на металлографическом микроскопе и, как следствие, плохая контрастность элементов микроструктуры таких реплик.

Радикальным решением вопроса по повышению отражательной способности и контрастности является получение металлических реплик. В практике электронной микроскопии известны способы получения металлических реплик [7–11]. В частности, в [102] кратко упоминается о возможности получения реплик гальваническим осаждением и химическим восстановлением, хотя технологические подробности этих процессов не приводятся.

#### **Материалы и методы**

В электрогидрометаллургии широкое применение имеет электролитическое получение металла – так называемое электроосаждение которое является обширной областью исследования теоретической и прикладной электрохимии [11].

Автором был исследован процесс получения медных реплик цементацией. Исследование проводили посредством планирования многофакторного эксперимента (метод Бокса – Уильсона). Образцы в лабораторных опытах изготавливали из стали 12Х1МФ, имеющей феррито-сорбитную микроструктуру балла 5 по шкале технических условий [12]. Площадь подготовленных по общепринятой методике шлифов оставалась постоянной и составляла 4 см<sup>2</sup>. Цементирующий раствор на поверхность шлифа наносили тампоном. Время выдержки раствора на поверхности шлифа во всех опытах 1 минута. После этого шлиф промывали водой и этиловым спиртом и сушили фильтровальной бумагой. Отделение медной пленки от поверхности шлифа проводили по известному методу, практикуемому в электронной микроскопии: на поверхность находящегося на шлифе медного осадка наносили коллодиевый раствор. После высыхания коллодиевого раствора образовавшийся полимерный слой-основу снимали со шлифа пинцетом. Вместе с полимерной основой от шлифа легко отделялась и медная пленка-реплика. В результате получали своего рода композиционный материал, состоящий из двух слоев-полимерной основы и прикрепленной к ней медной пленки-реплики. Реплики просматривали на металлографическом микроскопе МИМ-8М.

Как показали предварительные опыты, в процессе цементации часть поверхности шлифа работает анодом, т.е. растравливается. Однако во всех случаях часть поверхности шлифа площадью по крайней мере 1 см<sup>2</sup> работает только

катодом и соответствующая этой части поверхности шлифа медная пленка и является собственно репликой, т.е. в большей или меньшей степени воспроизводит микроструктуру стали. Микроскопическое рассмотрение этого  $1 \text{ см}^2$  поверхности медной пленки проводили, используя окуляр с мерной сеткой, что позволяло контролировать каждый  $\text{мм}^2$  поверхности реплики площадью  $1 \text{ см}^2$ .

В качестве параметра оптимизации (функции отклика)  $Y$  принята часть поверхности реплики площадью  $1 \text{ см}^2$ , точно, т.е. адекватно воспроизводящая микроструктуру шлифа. Размерность  $Y$ —50%. Если, например,  $50 \text{ мм}^2$  поверхности реплики площадью  $1 \text{ см}^2$  адекватно воспроизводят микроструктуру шлифа, то  $Y=50 \%$ .

Для определения оптимальных условий цементационного осаждения медных реплик нами был реализован полный трехфакторный эксперимент  $2^3$ . При этом учтены данные предварительных опытов [8, 9], согласно которым цементация дает на стали осадок меди в виде плотной компактной пленки только в достаточно концентрированных растворах сульфата меди  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , а небольшие количества серной кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$  способствуют кристаллизации меди в компактной форме. Учтено также, что в присутствии поверхностно-активного вещества тиомочевина  $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$  кристаллизуется более плотный мелкокристаллический осадок меди. По этой причине в качестве независимых переменных (факторов) выбраны концентрации  $X_1$  –  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $X_2$  –  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $X_3$  –  $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$ , где  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  – натуральные значения факторов, г/л. Интервалы варьирования и натуральные значения факторов на базовом, верхнем и нижнем уровнях приведены в таблице 1. Матрица планирования приведена в таблице 2.

Указанные в таблице 1 кодированные значения факторов определены по формуле

$$X_j = \frac{X_j + X_{j0}}{J_j} \quad (1)$$

где  $X_j$  – кодированное значение фактора;

$X_j$  – натуральное значение фактора;

$J$  – интервал варьирования;

$j$  – номер фактора.

В таблице 2 приведены также результаты рандомизированных во времени опытов.  $Y'$  и  $Y''$  – значения параметра оптимизации двух параллельных опытах,  $\bar{Y}$  – среднее значение параметра оптимизации в двух параллельных опытах.

Таблица 1 – Интервалы варьирования и натуральные значения факторов

Условия опытов	Концентрация, г/л		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
Базовый (основной) уровень	150	7,5	3
Интервал варьирования	100	7,5	3
Верхний уровень	250	15	6
Нижний уровень	50	0	0

Таблица 2 – Матрица планирования и результаты опытов

№ опыта	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y'	Y''	ÿ
1	-1	-1	+1	52	50	51
2	+1	-1	-1	60	62	61
3	-1	+1	-1	49	47	48
4	+1	+1	+1	68	72	70
5	-1	-1	-1	47	43	45
6	+1	-1	+1	78	82	80
7	-1	+1	+1	69	69	69
8	+1	+1	-1	78	78	78

### Результаты и обсуждение

Была определена воспроизводимость опытов и проведена проверка адекватности модели по стандартным методикам [13].

Итоговое уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$Y=62,75+9,50X_1+3,50X_2+4,75X_3-1,75X_1X_2-2,00X_1X_3-5,25X_1X_2X_3 \quad (2)$$

Рассмотрим, в какой мере каждый из факторов (независимых переменных) влияет на параметр оптимизации (функцию отклика). Величина коэффициента регрессии – количественная мера этого влияния. С увеличением концентрации CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CS параметр оптимизации возрастает – на это указывают положительные значения коэффициентов b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub> и b<sub>3</sub>. Из сравнения значений этих коэффициентов следует также, что наибольшее влияние на функцию отклика оказывает фактор X<sub>1</sub> – концентрация сульфата меди CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O – влияние этого фактора вдвое выше, чем фактора X<sub>3</sub> – концентрация тиомочевины (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CS, и почти в три раза выше, чем фактора X<sub>2</sub> – концентрация серной кислоты H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Значительное влияние на параметр оптимизации оказывают также эффекты взаимодействия. Однако, в отличие от независимых переменных (факторов), влияние эффектов взаимодействия направлено на уменьшение параметра оптимизации – на это указывает знак «минус» перед коэффициентами b<sub>1-2</sub>, b<sub>1-3</sub> и b<sub>1-2-3</sub>. При этом наиболее сильное влияние на параметр оптимизации оказывает совместное действие CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CS (эффект взаимодействия X<sub>1</sub>X<sub>2</sub>X<sub>3</sub>) – коэффициент b<sub>1-2-3</sub> более, чем в три раза превышает коэффициенты b<sub>1-2</sub> и b<sub>1-3</sub>. Отметим также, что совместное влияние концентрации CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CS (эффект взаимодействия X<sub>1</sub>X<sub>2</sub>X<sub>3</sub>) – заметно выше, чем концентраций

$H_2SO_4$  и  $(NH_2)_2CS$  в отдельности (факторы  $X_2$  и  $X_3$ ) – это следует из сравнения значений соответствующих коэффициентов в уравнении регрессии.

Таким образом, в результате экспериментов получено уравнение регрессии (2), которое адекватно описывает выбранную модель опыта при принятых интервалах варьирования независимых переменных. Наиболее высокое значение параметра оптимизации, которое удалось достичь, составляет 80 % – в опыте № 6 (см. таблицу 2). Как указывалось выше, реплика должна адекватно отображать исследуемую микроструктуру – имея в виду эту практическую задачу, следует признать, что значения параметра оптимизации 80 % не является приемлемым. Поэтому следует опыты продолжить, чтобы найти более оптимальные условия получения медных реплик цементацией.

Хотя уравнение регрессии (2) адекватно, оно не может быть использовано для отыскания оптимальных условий, поскольку это не линейное уравнение [13]. Для определения области оптимума движением по градиенту требуется линейная адекватная модель. В связи с этим необходимо, согласно рекомендациям [109], проверить на адекватность линейную часть уравнения (2). Запишем эту часть в виде отдельного уравнения:

$$Y=62,75+9,50X_1+3,50X_2+4,75X_3 \quad (3)$$

Результаты проверки линейного уравнения (3) приведены в таблице 3. При этом  $\hat{Y}$  – предсказанное по уравнению (3) значение параметра оптимизации.

Из данных таблицы 3 видно, что  $F_{эксп} > F_{табл}$ , следовательно линейное уравнение (3) является неадекватным. Формальным признаком неадекватности линейной модели является также значимость хотя бы одного из эффектов взаимодействия [13]. В нашем случае, как уже указывалось, значимыми оказались три эффекта взаимодействия. Таким образом, неадекватность линейного уравнения (3) подтверждается и по критерию Фишера, и по значимости коэффициентов взаимодействия.

Таблица 3 – Проверка уравнения (6.11) на адекватность

№ опыта	$\hat{Y}$	$\check{Y}$	$\check{Y}-\hat{Y}$	$(\check{Y}-\hat{Y})^2$	$S_{ад}^2$	$S_y^2$	$F_{эксп}$	$F_{табл}$
1	51	54,5	-3,5	12,25	36,03	3,75	9,6	6,6
2	61	64,0	-3,0	9				
3	48	52,0	-4,0	16				
4	70	80,5	-10,5	110,25				
5	45	45,0	0	0				
6	80	73,5	6,5	42,25				
7	69	61,5	7,5	56,25				
8	78	71,1	6,5	42,25				

Для того чтобы получить адекватное линейное уравнение, нужно провести вторую серию опытов, уменьшив при этом интервалы варьирования независимых

переменных [13]. Вторая серия опытов была выполнена также с реализацией полного трехфакторного эксперимента  $2^3$ . Матрица планирования и расчетная матрица второй серии опытов аналогичны предыдущим матричным опытам. Из уравнений (2) и (3) следует, что наибольшее влияние на параметр оптимизации оказывает фактор  $X_1$ . В то же время известно, что при цементационном восстановлении меди из серноокислых растворов компактные плотные пленки меди на стальной поверхности получают преимущественно в интервале концентраций  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  180–250 г/л [11]. Это обстоятельство учтено при выборе интервала варьирования фактора  $X_1$  во второй серии опытов.

При проведении первой серии опытов было замечено, что при концентрациях  $\text{H}_2\text{SO}_4$  на верхнем уровне происходит излишнее растравливание поверхности шлифа. Поэтому во второй серии опытов натуральное значение фактора  $X_2$  на верхнем уровне было уменьшено.

Хотя поверхностно-активные вещества благоприятно влияют на электрокристаллизацию меди, однако при проведении первой серии опытов было замечено, что при концентрациях  $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$  5–6 г/л медные пленки становятся более хрупкими. Это вызвано внедрением атомов серы в кристаллическую решетку меди. Поэтому было принято решение во второй серии опытов снизить верхний предел концентрации  $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$  до 2 г/л. Условия проведения и результаты второй серии опытов приведены ниже (таблицы 4 и 5).

Таблица 4 – Интервалы варьирования и натуральные значения факторов второй серии опытов

Условия опытов	Концентрация, г/л		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Базовый (основной) уровень	220	2	2
Интервал варьирования	20	2	2
Верхний уровень	240	4	4
Нижний уровень	200	0	0

Таблица 5 – Результаты второй серии опытов

№ опыта	$Y'$	$Y''$	$\bar{Y}$	№ опыта	$Y'$	$Y''$	$\bar{Y}$
1	63	57	60	5	43	37	40
2	74	70	72	6	80	82	81
3	47	53	50	7	81	75	78
4	97	91	94	8	79	73	76

Воспроизводимость опытов второй серии проведена теми же методами, что и в первой серии опытов [13].

Для всех коэффициентов взаимодействия справедливо соотношение  $\tau_{\text{экс}} < \tau_{\text{таб}}$ . Следовательно, факторы  $X_{1-2}$ ,  $X_{1-3}$  и  $X_{2-3}$  являются незначимыми. В связи с этим в результате второй серии опытов получено линейное уравнение регрессии



$$Y=69,0+12,0X_1+5,50X_2+9,5X_3 \quad (4)$$

Поскольку все эффекты взаимодействия оказались незначимыми, правомерно полагать, что уравнение (4) является адекватным.

Данное уравнение дополнительно проверено на адекватность с помощью критерия Фишера.

Анализ уравнения регрессии (4) показывает, что интенсивность влияния каждого из факторов также осталась прежней: наибольшее влияние на функцию отклика оказывает концентрация  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , в несколько меньшей степени влияет концентрация  $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$ , и менее всего – концентрация  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

#### **Выводы**

1) Таким образом, исходя из анализа данных теоретической и прикладной электрохимии о процессе электрокристаллизации металла на чужеродной подложке, высказано предположение о возможности получения металлических реплик электроосаждением, в частности, за счет «внутреннего электролиза» – реакции цементации.

2) Проведены планированные опыты по получению медных реплик за счет реакции контактного обмена (цементации) на поверхности стального шлифа. В результате этих опытов получено уравнение регрессии, показывающее зависимость параметра оптимизации – качество медной реплики – от состава цементирующего раствора. Методом крутого восхождения определен оптимальный состав раствора, обеспечивающий осаждение на поверхности стального шлифа медной реплики, которая адекватно отображает исследуемую микроструктуру.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 **Бугай Н. В., Березина Т. Г., Трунин И. И.** Работоспособность и долговечность металла энергетического оборудования. – М. : Энергоатомиздат. – 1994. – 272 с.

2 РД 10–262–98. Типовая инструкция по контролю и продлению срока службы металла основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций. – М. : ОРГРЭС, 1999.

3 РД 34.17.440–96. Методические указания о порядке проведения работ при оценке индивидуального ресурса паровых турбин и продлению срока их эксплуатации сверх паркового ресурса. – М. : ВТИ, 1996.

4 ОСТ 34–70–690–96. Металл паросилового оборудования. Методы металлографического анализа в условиях эксплуатации. – М. : ВТИ, 1997.

5 **Артамонов В. В., Зимина А. В., Артамонов В. П.** Техническая диагностика эксплуатационных повреждений экранных труб // Контроль. Диагностика. – 2012. – № 1. – С. 38–41.

6 **Артамонов В. В.** Микроструктурный мониторинг энергооборудования. – СПб. : Наука, 2011. – 151 с.

7 **Артамонов В. В.** Общие принципы гальванического осаждения металлических реплик для неразрушающего контроля микроструктуры металла теплоэнергетического оборудования // Электрические станции, 2003. – № 11. – С. 40–44.

8 **Артамонов В. В.** Медные реплики для неразрушающего контроля микроструктуры металла теплоэнергетического оборудования // Теплоэнергетика, 2004. – № 4. – С. 29–32.

9 **Артамонов В. В., Игембаев Д. А., Чугай Е. Е., Артамонов В. П.** Сравнительный анализ методов получения металлографических реплик // Контроль. Диагностика, 2011. – № 4. – С. 28–34.

10 **Artamonov V. V., Artamonov V. P.** Aluminium replicas for optical metallography // Journal of Materials Engineering and Performance, 2007. – Vol. 16. – No 1. – Februar. – P. 52–54.

11 **Артамонов В. П., Помосов А. В.** Некоторые особенности формирования осадков меди при ее цементационном восстановлении из растворов // Электрохимия, 1984. – Т. XX. – № 12. – С. 1649–1654.

12 ТУ 14–3Р–55–2001. Трубы стальные бесшовные для паровых и водогрейных котлов. Технические условия. – М. : ЦНИИТМАШ, 2001.

13 **Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М. : Наука, 1976. – 279 с.

#### REFERENCES

1 **Bugai N. V., Berezina T. G., Trunin I. I.** Robotosposobnost i dolgovechnost metala energeticheskogo oborudovaniya. – М. : Energoatomizdat, 1994. – P. 272.

2 RD 10–262–98. Tipovaya instrukcia po kontrolyu i prodleniu sroka sluzhby metala osnovnyh elementov kotlov, turbin i truboprovodov teplovyh elektrostancii. – М. : ORGRES, 1999.

3 RD 34.17.440–96. Metodicheskie ukazaniya o poryadke provedeniya rabot pri jcenke individualnogo resursa parovyh turbin i prodleniu sroka ih expluatacii sverh parkovogo resursa. – М. : VTI, 1996.

4 OST 34–70–690–96. Metal parosilovogo oborudovaniya. Metody metalograficheskogo analiza v usloviah expluatacii. – М. : VTI, 1997.

5 **Artamonov V. V., Zimina A. V., Artamonov V. P.** Tehnicheskaya diagnostika expluatacionnyh povrezhdenii ekrannyh trub // Kontrol. Diagnostika. – 2012. – № 1. – P. 38–41.

6 **Artamonov V. V.** Mikrostrukturnyi monitoring energooborudovaniya. – SPb. : Nauka, –2011. – 151 p.

7 **Artamonov V. V.** Obschie principy galvanicheskogo osazhdeniya metalicheskikh replik dlya nerazrushaushego kontrolya mikrostrukturny metala teploenergeticheskogo oborudovaniya // Elektricheskie stancii, 2003. – № 11. – P. 40–44.

8 Artamonov V. V. Mednye repliki dlya nerazrushaushego kontrolya mikrostruktury metala teploenergeticheskogo oborudovania // Teploenergetika, 2004. – № 4. – P. 29–32.

9 Artamonov V. V., Igembaev D.A., Chugai E.E. Sravnitelny analiz metodov polucheniya metalograficheskikh replik // Kontrol. Diagnostika, 2011. – № 4. – P. 28–34.

10 Artamonov V. V., Artamonov V. P. Aluminium replicas for optical metallography // Journal of Materials Engineering and Performance, 2007. – Vol. 16. – No 1. – Februar. – P. 52–54.

11 Artamonov V. P., Pomosov A. V. Necotorye osobennosti formirovaniya osadkov medi pri ee cementacionom vosstanovlenii iz rastvorov // Elektrohimia, 1984. – Т. XX. – № 12. – P. 1649–1654.

12 TU 14–3P–55 – 2001. Truby stalnye besshovnyi dlya parovyh I vodogreinyh kotlov. Technicheskie uslovia. – M. : CNIITMASH, 2001.

13 Adler U. P., Markova E. V., Granovski U. V. Planirovanie experimenta pri poiske optimalnyh uslovii. – M. : Nauka, 1976. – 279 p.

Материал поступил в редакцию 17.03.22

**\*В. В. Артамонов**

СУ «Леноргэнергогаз» ААҚ «Оргэнергогаз»,

Ресей федерациясы, Санкт-Петербург қ.

Материал баспаға 17.03.22 түсті.

## ЦЕМЕНТТЕУ ӘДІСІМЕН МЕТАЛЛОГРАФИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕР ҮШІН РЕПЛИКАЛАР АЛУ

*Жұмыста  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  мыс сульфатының,  $H_2SO_4$  күкірт қышқылының ерітінділерінен бұзылмайтын металлографиялық бақылау, белсенді энергетикалық және мұнай-газ жабдықтары үшін беттік белсенді зат  $(NH_2)_2CS$  қатысуымен цементтеу әдісімен мыс репликаларын алу технологиясы зерттелді.*

*Болат шифтің бетіндегі түйіспелі алмасу (цементтеу) реакциясы есебінен мыс репликаларын алу бойынша жоспарланған тәжірибелер жүргізілді. Осы тәжірибелердің нәтижесінде оңтайландыру параметрінің – мыс репликасының сапасы – цементтеу ерітіндісінің құрамына тәуелділігін көрсететін регрессия теңдеуі алынды. Тік көтерілу әдісімен ерітіндінің оңтайлы құрамы анықталды, ол зерттелген микроқұрылымды жеткілікті түрде көрсететін мыс репликасының Болат саңылауының бетіне жауын-шашынды қамтамасыз етеді.*

*Регрессия теңдеуінде тәуелсіз айнымалылар (факторлар) ретінде  $X_1 - CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ,  $X_2 - H_2SO_4$ ,  $X_3 - (NH_2)_2CS$  концентрациялары таңдалды, мұндағы  $X_1, X_2, X_3$  - факторлардың табиғи мәндері, г / л,  $Y$  жауап беру функциясы 1 см<sup>2</sup> реплика бетінің бөлігі болып табылады, микроқұрылымды дәл және жеткілікті түрде көбейтеді шиф.*

*Алынған регрессия теңдеуін талдау жауап беру функциясына  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  концентрациясы,  $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$  концентрациясы біршама аз әсер етеді, ал  $\text{H}_2\text{SO}_4$  концентрациясы аз әсер етеді.*

*Кілтті сөздер: металлография, бұзылмайтын бақылау, мыс репликасы, цементтеу, болат.*

**\*V. V. Artamonov**

SU «Lenorgenergogaz» JSC «Orgenergogaz»,

Russian Federation, St. Petersburg.

Material received on 17.03.22.

### **OBTAINING REPLICAS FOR METALLOGRAPHIC STUDIES BY CEMENTATION**

*The technology of obtaining copper replicas by cementation from solutions of copper sulfate  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , sulfuric acid  $\text{H}_2\text{SO}_4$  in the presence of the surfactant thiourea  $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$  for non-destructive metallographic control, operating energy and oil and gas equipment is investigated.*

*Planned experiments were carried out to obtain copper replicas due to the reaction of contact exchange (cementation) on the surface of the steel strip. As a result of these experiments, a regression equation was obtained showing the dependence of the optimization parameter – the quality of the copper replica – on the composition of the cementing solution. By the method of steep ascent, the optimal composition of the solution was determined, which ensures the deposition of a copper replica on the surface of the steel strip, which adequately reflects the microstructure under study.*

*The concentrations  $X_1$  –  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $X_2$  –  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $X_3$  –  $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$  are selected as independent variables (factors) in the regression equation, where  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  are the natural values of the factors, g/l, the response function  $Y$  is a part of the replica surface area of 1 cm<sup>2</sup>, accurately and adequately reproducing the microstructure the train.*

*Analysis of the obtained regression equation shows that the concentration of  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  has the greatest influence on the response function, the concentration of  $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$  has a somewhat lesser effect, and the concentration of  $\text{H}_2\text{SO}_4$  has the least.*

*Keywords: metallography, non-destructive testing, copper replica, cementation, steel.*

Теруге 17.03.22 ж. жіберілді. Басуға 27.03.22 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

15 Мб RAM

Шартты баспа табағы 14,5. Таралымы 300 дана.

Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3952

«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](mailto:kereku@tou.edu.kz)

<https://vestnik.tou.edu.kz/>

<http://stk.tou.edu.kz/>