

# Физическая химия и физика металлургических систем Physical chemistry and physics of metallurgical systems

Научная статья  
УДК 673.15, 669.017  
DOI: 10.14529/met230401

## ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ МЕДНО-ЦИНКОВЫХ СПЛАВОВ В ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ СРЕДАХ

*Д.О. Левин, office@ld-pride.ru*  
*Д.А. Усов, udaldpride@gmail.com*  
*К.А. Шевченко, shka\_chsgs@mail.ru*  
*С.С. Стругов, strugov\_s174@mail.ru*  
ООО «ЛД Прайд», Челябинск, Россия

**Аннотация.** В настоящей работе приведены результаты исследований электродного потенциала  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $(\alpha+\beta)$ -латуней, определены токи коррозии в хлорсодержащих средах, проведены испытания по их обесцинкованию в растворе хлорида меди. С целью более глубокого изучения свойств латуни были определены токи коррозии и электродный потенциал в хлорсодержащих средах для чистых металлов – меди и цинка. В ходе работы были построены графики зависимости потенциала меди, цинка,  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $(\alpha+\beta)$ -латуней от времени травления в растворах хлорида натрия и растворе хлорида натрия с добавлением хлорида аммония. Определены токи коррозии в растворе хлорида натрия: для меди (38 мкА),  $\alpha$ -латуни (70 мкА),  $(\alpha+\beta)$ -латуни (113 мкА),  $\beta$ -латуни (88 мкА) и в растворе хлорида натрия с добавлением хлорида аммония: для меди (14 мкА), цинка (71 мкА),  $\alpha$ -латуни (37 мкА),  $(\alpha+\beta)$ -латуни (44 мкА),  $\beta$ -латуни (42 мкА). По результатам исследования стойкости сплавов к обесцинкованию были получены следующие данные: глубина обесцинкования  $\alpha$ -латуни – 450–500 мкм,  $\alpha+\beta$  – 950–1000 мкм,  $\beta$  – 600–700 мкм. Результаты исследований токов коррозии в хлорсодержащих средах соотносятся с результатами экспериментов по обесцинкованию. Проведенные исследования подтверждают предположение о том, что в двойных латунях  $\alpha$ - и  $\beta$ -фазы образуют коррозионный элемент за счет разницы химического состава и, следовательно, разных электродных потенциалов, что приводит к потере цинка в несколько большей степени, чем в  $\beta$ -латуни.

**Ключевые слова:** электродный потенциал, ток коррозии, обесцинкование, шаровой кран

**Для цитирования:** Исследование и сравнительный анализ коррозионной стойкости медно-цинковых сплавов в хлорсодержащих средах / Д.О. Левин, Д.А. Усов, К.А. Шевченко, С.С. Стругов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2023. Т. 23, № 4. С. 11–23. DOI: 10.14529/met230401

Original article  
DOI: 10.14529/met230401

## RESEARCH AND COMPARATIVE ANALYSIS OF CORROSION RESISTANCE OF COPPER-ZINC ALLOYS IN CHLORINE-CONTAINING ENVIRONMENTS

*D.O. Levin, office@ld-pride.ru*  
*D.A. Usov, udaldpride@gmail.com*  
*K.A. Shevchenko, shka\_chsgs@mail.ru*  
*S.S. Strugov, strugov\_s174@mail.ru*  
LLC “LD Pride”, Chelyabinsk, Russia

**Abstract.** This work presents the results of studies of the electrode potential of  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\alpha+\beta$  brasses, determined corrosion currents in chlorine-containing environments, and conducted tests on their dezincification in a copper chloride solution. In order to more deeply study the properties of brass, corrosion currents

© Левин Д.О., Усов Д.А., Шевченко К.А., Стругов С.С., 2023

and electrode potential in chlorine-containing environments were determined for pure metals: copper and zinc. In the course of the work, graphs were constructed of the potential of copper, zinc,  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\alpha+\beta$  brasses versus the etching time in sodium chloride solutions and a sodium chloride solution with the addition of ammonium chloride. Corrosion currents were determined in a sodium chloride solution: for copper (38  $\mu\text{A}$ ),  $\alpha$  brass (70  $\mu\text{A}$ ),  $\alpha+\beta$  brass (113  $\mu\text{A}$ ),  $\beta$  brass (88  $\mu\text{A}$ ) and in a sodium chloride solution with the addition of ammonium chloride: for copper (14  $\mu\text{A}$ ), zinc (71  $\mu\text{A}$ ),  $\alpha$  brass (37  $\mu\text{A}$ ),  $\alpha+\beta$  brass (44  $\mu\text{A}$ ),  $\beta$  brass (42  $\mu\text{A}$ ). Based on the results of a study of the resistance of alloys to dezincification, the following data were obtained: dezincification depth of brass  $\alpha$  – 450–500  $\mu\text{m}$ ,  $\alpha+\beta$  – 950–1000  $\mu\text{m}$ ,  $\beta$  – 600–700  $\mu\text{m}$ . The results of studies of corrosion currents in chlorine-containing environments correlate with the results of dezincification experiments. The studies carried out confirm the assumption that in double brasses the  $\alpha$  and  $\beta$  phases form a corrosion element due to the difference in chemical composition, and, consequently, different electrode potentials, which leads to the loss of zinc to a slightly greater extent than in  $\beta$  brass.

**Keywords:** electrode potential, corrosion current, dezincification, ball valve

**For citation:** Levin D.O., Usov D.A., Shevchenko K.A., Strugov S.S. Research and comparative analysis of corrosion resistance of copper-zinc alloys in chlorine-containing environments. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2023;23(4):11–23. (In Russ.) DOI: 10.14529/met230401

## Введение

В рамках продолжения исследования коррозионной стойкости медно-цинковых сплавов следует отметить, что чаще всего для производства трубозапорной арматуры используется двухфазная ( $\alpha+\beta$ )-латунь [1–3]. Использование двухфазных латуней наиболее целесообразно в массовом производстве, так как это наиболее выгодно с экономической точки зрения (процентное содержание Cu меньше, чем в  $\alpha$ -латуни) обладает более высокими прочностными характеристиками в холодном состоянии. В сравнении с  $\beta$ -латунью сплав ( $\alpha+\beta$ )-латуни более благоприятно обрабатывается давлением [4–7]. Для полноты эксперимента и с целью более глубокого анализа процесса обесцинкования большое значение имеет исследование коррозионной стойкости  $\alpha$ -,  $\beta$ - и ( $\alpha+\beta$ )-латуней в различных средах.

В данной работе приводятся результаты изучения обесцинкования  $\alpha$ -,  $\beta$ - и ( $\alpha+\beta$ )-латуней, исследование их электродного потенциала, а также электродного потенциала Cu и Zn в хлорсодержащих средах [8–9]. Также в рамках работы определены токи коррозии Cu, Zn и  $\alpha$ -,  $\beta$ - и ( $\alpha+\beta$ )-латуней.

## Методы

Для реализации поставленных задач были выплавлены латунные слитки определенного химического состава. В качестве шихты для получения лабораторных образцов применялись медь М1 ГОСТ 859–2014 [10], цинк гранулированный Ч по ТУ 6-09-5294-86. Химический состав слитков приведен в табл. 1.

С целью определения коррозионной стойкости было проведено обесцинкование латун-

ных образцов по ГОСТ 28057–89. Методика проведения обесцинкования представлена в работе [11].

Исследование микроструктуры проводили на металлографическом инвертированном микроскопе Альтами МЕТ 1Т.

Для определения электродного потенциала использовались образцы латуней, указанных в табл. 1, и дополнительно были отлиты слитки из меди М1 ГОСТ 859–2014 и цинка гранулированного чистого по ТУ 6-09-5294-86. Слитки протачивались в  $\varnothing 20$  мм, длиной 120 мм. После промывки, обезжиривания образцы залили эпоксидной смолой. Торцы полученных электродов шлифовали и полировали с дальнейшим обезжириванием, после чего проводили электрохимическое исследование.

Электрохимические исследования по изучению электродных потенциалов проводили в растворах 0,5 М NaCl и 0,493 М NaCl + 0,007 М  $\text{NH}_4\text{Cl}$  при помощи потенциостата-гальваностата. Химический стакан с 250 мл рабочего раствора помещали в термостат и выдерживали при 25 °С в течение 30 мин. После проведения термостатирования в рабочий раствор помещали хлорсеребряный электрод и экспериментальный подготовленный электрод. Потенциал измеряли при постоянном перемешивании 300 об/мин.

Определение поляризационных диаграмм проводили в растворах 0,5 М NaCl и 0,493 М NaCl + 0,007 М  $\text{NH}_4\text{Cl}$  при помощи потенциостата-гальваностата. 250 мл раствора наливали в химический стакан и помещали в термостат, далее выдерживали его при 25 °С в течение 30 мин. Исследования проводили при постоянном перемешивании 300 об/мин в

Химический состав исследованных лабораторных сплавов

Таблица 1

Chemical composition of the studied laboratory alloys

Table 1

Элемент	Сплав		
	$\alpha$	$\alpha+\beta$	$\beta$
Сu-основа	67,876	60,721	53,109
Zn	33,027	39,165	46,748
Pb	0,021	0,019	0,018
Fe	0,016	0,017	0,016
Sn	0,035	0,035	0,032
Ni	0,0086	0,0089	0,0076
Al	0,0096	0,0026	0,059
Bi	0,0010	0,0017	0,0020
Si	–	–	–
Sb	0,0025	0,0025	0,0039
P	0,0012	0,00095	0,0013
Mn	0,0019	0,0020	0,0020
As	0,0010	0,0011	0,0011

трехэлектродной системе. В качестве электрода сравнения использовали хлорсеребряный электрод, в качестве вспомогательного – графитовый электрод [12–16].

### Результаты

По результатам обесцинкования были подготовлены шлифы поперечной плоскости образцов. Фотографии поверхности шлифов лабораторных образцов после обесцинкования представлены на рис. 1, где а –  $\alpha$ -латунь, б –  $(\alpha+\beta)$ -латунь, с –  $\beta$ -латунь (химический состав указан в табл. 1).

Величина обесцинкования образцов на рис. 1: а – 450–500 мкм, б – 950–1000 мкм, с – 600–700 мкм.

Ниже приведены результаты исследований электродного потенциала меди, цинка и латуни, указанных в табл. 1.

На рис. 2 представлена зависимость по-

тенциала меди от времени выдержки в коррозионной среде 0,5 М NaCl и 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl.

Начальное значение потенциала меди в растворе 0,5 М NaCl наблюдается при 50 мВ, далее происходит смещение потенциала в анодную область в течение 50 мин с выходом на стационарные значения потенциала при –10 мВ. На зависимости наблюдается локальный минимум в течение первых 5 мин коррозии, данное явление, по-видимому, связано локальной неоднородностью поверхности.

Потенциал меди в растворе 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl принимает начальное значение при –20 мВ. При 5 мин выдержки в коррозионной среде наблюдается точка перегиба значений потенциала (–33 мВ). Далее в течение 1,5 ч потенциал смещается в катодную область и принимает стационарное значение при –20 мВ.

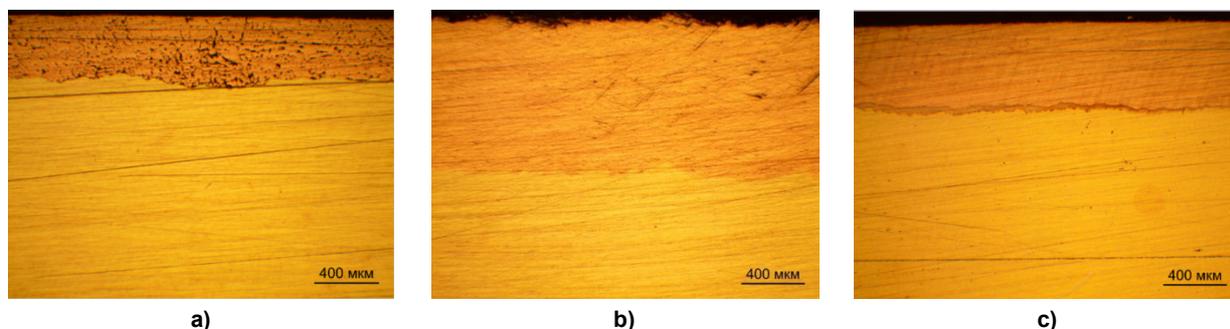


Рис. 1. Изображения шлифов после проведения обесцинкования с разными фазами:  
а –  $\alpha$ -латунь; б –  $(\alpha+\beta)$ -латунь; с –  $\beta$ -латунь

Fig. 1. Images of sections after dezincification with different phases:  
a –  $\alpha$ -brass, b –  $\alpha+\beta$ -brass, c –  $\beta$ -brass

Стационарное значение потенциала меди в растворе 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl смещено в анодную область на 10 мВ

На рис. 3 представлены зависимости потенциала цинка от времени травления в коррозионной среде 0,5 М NaCl и 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl.

Начальное значение потенциала цинка в растворе 0,5 М NaCl наблюдается при -764 мВ. При протекании коррозии цинка значения по-

тenciала равномерно смещаются в анодную область до значений потенциалов -790 мВ. Далее значения потенциала цинка выходят на плато и не изменяются со временем.

Начальное значение потенциала цинка в растворе 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl наблюдаются при -772 мВ. В течение первого часа травления значения потенциала проходят локальный минимум. Далее значения потенциала цинка монотонно смещаются в анодную об-

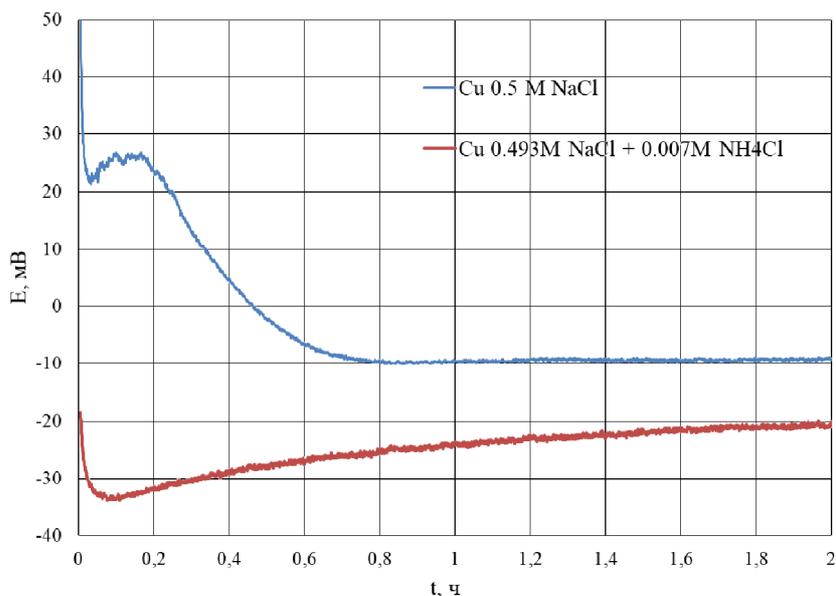


Рис. 2. Зависимость потенциала меди от времени травления в коррозионной среде 0,5 М NaCl и 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl  
Fig. 2. Dependence of copper potential on etching time in a corrosive environment of 0.5 М NaCl and 0.493 М NaCl + 0.007 М NH<sub>4</sub>Cl

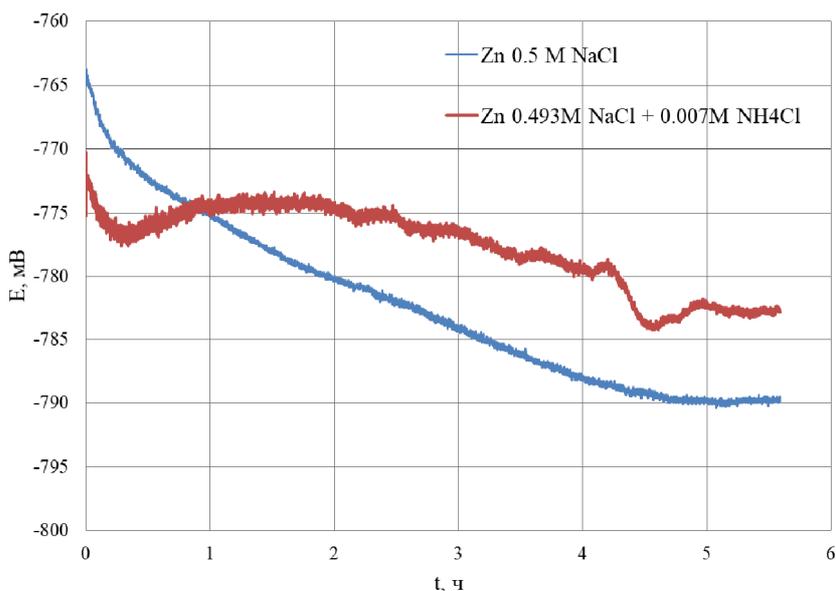


Рис. 3. Зависимость потенциала цинка от времени травления в коррозионной среде 0,5 М NaCl и 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl  
Fig. 3. Dependence of zinc potential on etching time in a corrosive environment of 0.5 М NaCl and 0.493 М NaCl + 0.007 М NH<sub>4</sub>Cl

ласть в течение 4 ч. При 4,5 ч травления наблюдается второй локальный минимум с последующим выходом значений потенциала на плато при  $-782$  мВ.

Значение потенциала цинка в растворе  $0,5$  М NaCl по истечении  $5,5$  ч травления смещаются в анодную область на  $18$  мВ относительно значений потенциала цинка в растворе  $0,493$  М NaCl +  $0,007$  М.

На рис. 4 представлена зависимость потенциала  $\alpha$ -,  $\beta$ -, ( $\alpha+\beta$ )-латуни от времени травления в коррозионной среде  $0,5$  М NaCl.

У всех трёх видов латуни наблюдаются схожие виды зависимости потенциала от времени травления. На первом этапе происходит смещение потенциала в анодную область, по-видимому, происходит активация латуни. Время, за которое происходит активация латуни, не одинаково для всех 3 видов, быстрее всех в активное состояние переходит ( $\alpha+\beta$ )-латунь ( $10$  мин), далее  $\beta$ -латунь ( $40$  мин), медленнее всех переходит  $\alpha$ -латунь ( $100$  мин), при этом

потенциалы принимают следующие значения:  $\alpha - -15$  мВ,  $\beta - -79$  мВ,  $\alpha+\beta - -54$  мВ.

Далее наблюдается момент изменения направления потенциала в катодную область. Вид облагораживания потенциала для  $\alpha$ - и  $\beta$ -латуни имеет равномерный характер, а облагораживание потенциала ( $\alpha+\beta$ )-латуни происходит скачкообразно. Для ( $\alpha+\beta$ )-латуни наблюдается выход потенциала на стационарные значения, при этом по истечении времени эксперимента всё ещё происходит смещение потенциала  $\alpha$ -латуни и  $\beta$ -латуни в катодную область. Потенциалы  $\alpha$ -,  $\beta$ - и ( $\alpha+\beta$ )-латуни по истечении  $7$  ч выдержки в коррозионной среде равны соответственно  $-21$ ,  $-66$ ,  $-27$  мВ.

В табл. 2 представлены значения времени активации латуни, потенциал активации, потенциал латуни через  $7$  ч выдержки в коррозионной среде.

На рис. 5 представлена зависимость потенциала латуни различного состава от вре-

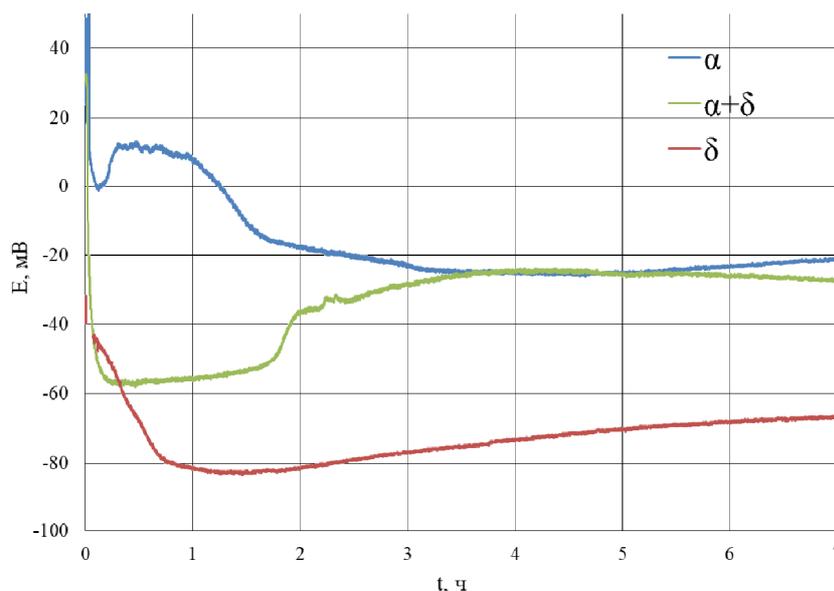


Рис. 4. Зависимость потенциала латуни различного состава от времени выдержки в коррозионной среде  $0,5$  М NaCl  
Fig. 4. Dependence of the potential of brass of various compositions on the exposure time in a corrosive environment of  $0.5$  М NaCl

Электрохимические характеристики латуни в коррозионной среде  $0,5$  М NaCl

Таблица 2

Electrochemical characteristics of brass in a corrosive environment of  $0.5$  М NaCl

Table 2

Латунь	Время активации латуни, мин	Потенциал активации, мВ	Потенциал через 7 ч коррозии, мВ
$\alpha$	100	$-15$	$-21$
$\alpha+\beta$	10	$-54$	$-27$
$\beta$	40	$-79$	$-66$

мени выдержки в коррозионной среде состава 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl.

У всех трёх видов латуни наблюдаются схожие виды зависимости потенциала от времени травления. Изменение потенциала можно разделить на два участка. На первом участке потенциал покрытия смещается в положительную область, далее, после точки перегиба, значение потенциалов начинает смещаться в отрицательную область. При этом для α-латуни наблюдается только первый этап смещения в катодную область значений потенциала. По-видимому, это связано с меньшей скоростью коррозии α-латуни по сравнению с латунями другого состава. Ожидается, что при большем времени коррозии будет наблюдаться точка перегиба изменения значений потенциала.

Время, за которое значения потенциалов достигают точки перегиба, для (α+β)-латуни составляет 200 мин, для β-латуни составляет

120 мин. Потенциалы в точке перегиба для (α+β)-латуни равны –73 мВ, для β-латуни равны –92 мВ

Для β-латуни наблюдается выход значений потенциала на плато, что не наблюдается для латуней другого состава. Однако на зависимости (α+β)-латуни наблюдается постепенный выход значений потенциала на постоянные значения.

Значения потенциалов латуни различного состава после 7 ч травления в коррозионной среде состава 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl представлены в табл. 3, также там представлены значения потенциалов перегиба; время, за которое значения потенциала достигают точки перегиба.

На рис. 6–8 представлены зависимости значений потенциалов от времени травления для латуней различного состава в растворах 0,5 М NaCl и 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl.

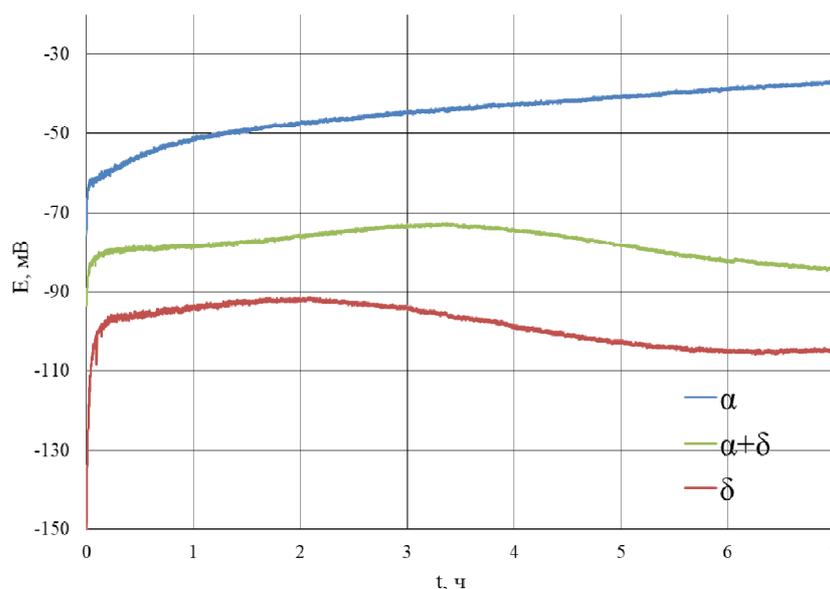


Рис. 5. Зависимость потенциала латуни различного состава от времени травления в коррозионной среде 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl  
Fig. 5. Dependence of the potential of brass of various compositions on the etching time in a corrosive environment of 0.493 М NaCl + 0.007 М NH<sub>4</sub>Cl

Электрохимические характеристики латуни в коррозионной среде 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl

Electrochemical characteristics of brass in a corrosive environment of 0.493 М NaCl + 0.007 М NH<sub>4</sub>Cl

Таблица 3

Table 3

Латунь	Время достижения точки перегиба, мин	Потенциал точки перегиба, мВ	Потенциал после 7 ч травления, мВ
α	–	–	–37
α+β	200	–73	–84
β	120	–92	–104

Для всех видов латуни наблюдается одинаковая тенденция смещения потенциала в анодную область при добавлении в коррозионную среду ионов аммония. Смещение значений потенциалов в анодную область по истечении 7 ч травления в коррозионной среде 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl относительно 0,5 М NaCl для α-латуни составило 16 мВ, (α+β)-латуни составило 57 мВ, β-латуни составило 38 мВ (табл. 4).

Смещение значений потенциалов в анод-

ную область при добавлении ионов аммония происходит, по-видимому, из-за ускоренного растворения продуктов коррозии латуни.

Далее приведены результаты исследований по определению тока коррозии для меди, цинка и латуней в среде хлорида натрия и хлориде натрия с добавлением хлорида аммония.

На рис. 9 представлены поляризационные кривые меди в коррозионных средах 0,5 М NaCl и 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl.

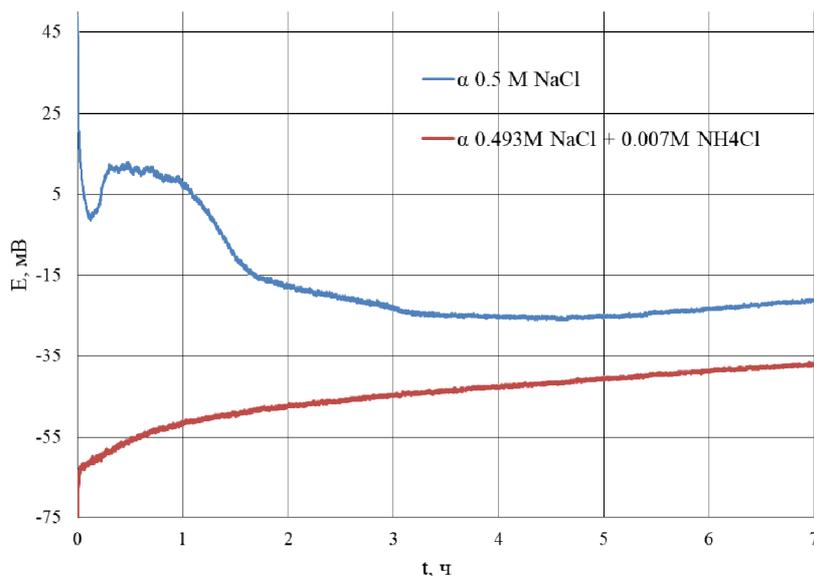


Рис. 6. Зависимость потенциала α-латуни от времени травления в коррозионной среде 0,5 М NaCl и 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl  
Fig. 6. Dependence of the potential α of brass on the etching time in a corrosive environment of 0.5 M NaCl and 0.493 M NaCl + 0.007 M NH<sub>4</sub>Cl

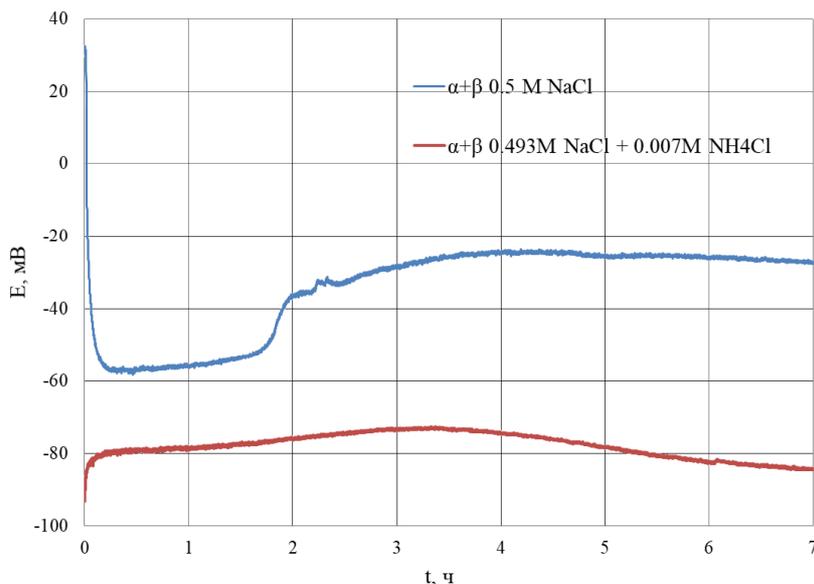


Рис. 7. Зависимость потенциала (α+β)-латуни от времени травления в коррозионной среде 0,5 М NaCl и 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl  
Fig. 7. Dependence of the potential α+β of brass on the etching time in a corrosive environment of 0.5 M NaCl and 0.493 M NaCl + 0.007 M NH<sub>4</sub>Cl

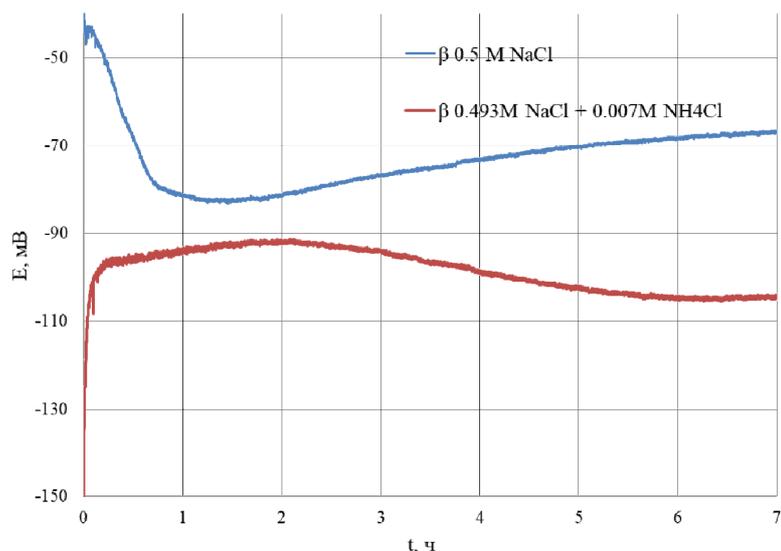


Рис. 8. Зависимость потенциала  $\beta$ -латуни от времени травления в коррозионной среде 0,5 М NaCl и 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl  
Fig. 8. Dependence of the potential  $\beta$  of brass on the etching time in a corrosive environment of 0.5 M NaCl and 0.493 M NaCl + 0.007 M NH<sub>4</sub>Cl

Электрохимические характеристики латуни

Таблица 4

Electrochemical characteristics of brass

Table 4

Латунь	Потенциал в среде 0,5 М NaCl через 7 ч коррозии, мВ	Потенциал в среде 0,493 М NaCl + 0,007 М NH <sub>4</sub> Cl через 7 ч коррозии, мВ	Смещение значений потенциалов при добавлении NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> в анодную область, мВ
$\alpha$	-21	-37	16
$\alpha+\beta$	-27	-84	57
$\beta$	-66	-104	38

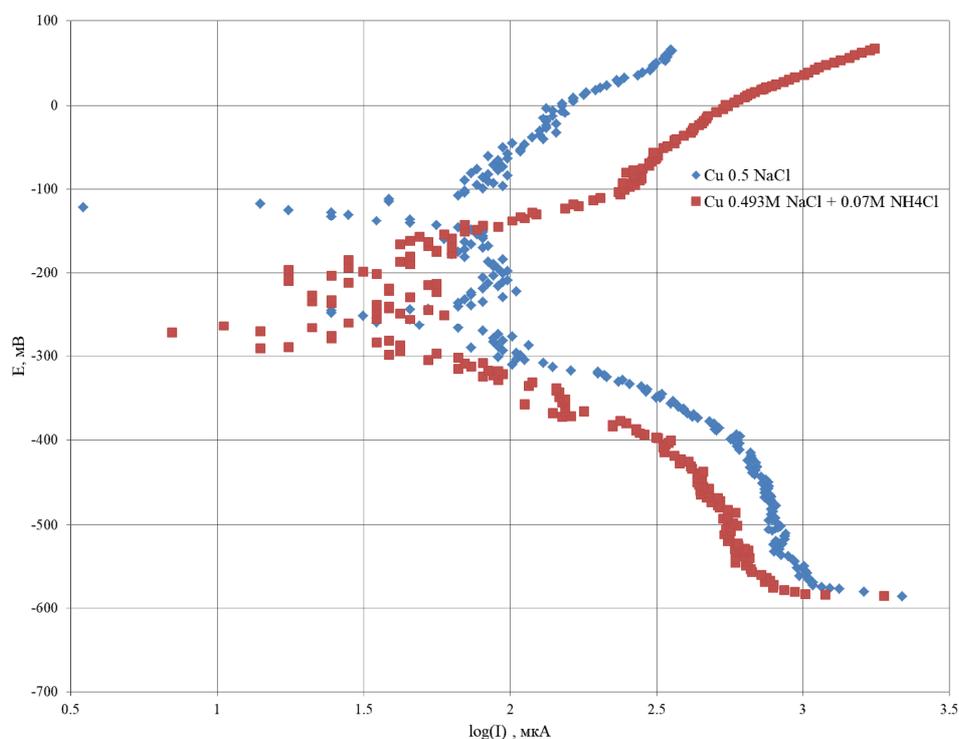


Рис. 9. Поляризационные кривые меди в коррозионной среде 0,5 М NaCl и 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl  
Fig. 9. Polarization curves of copper in a corrosive environment of 0.5 M NaCl and 0.493 M NaCl + 0.007 M NH<sub>4</sub>Cl

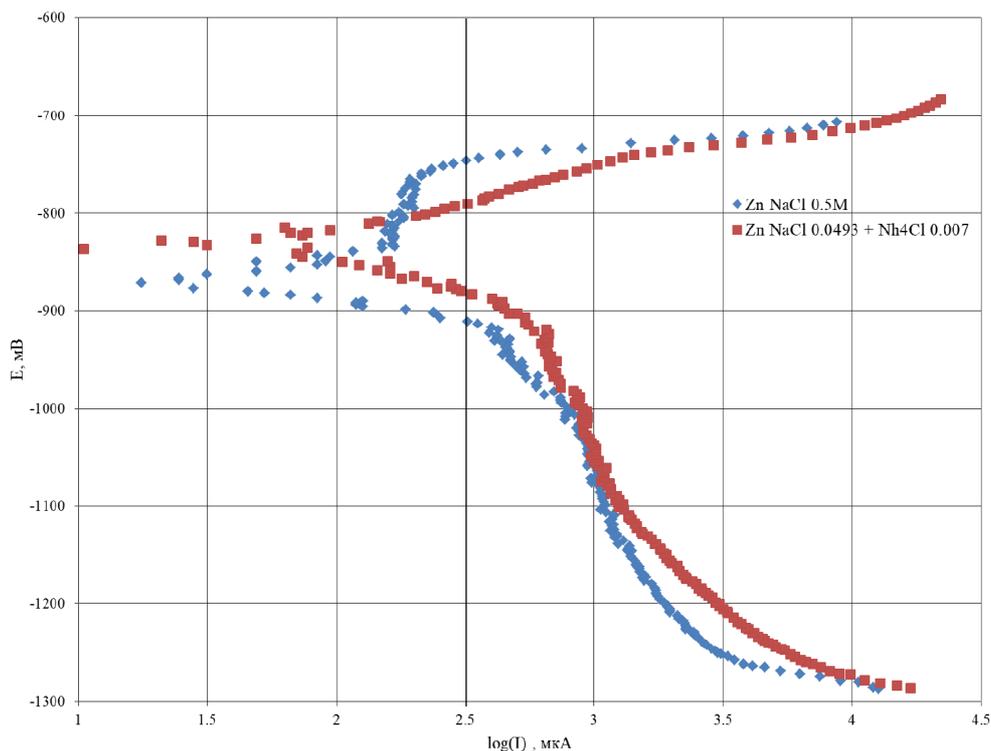


Рис. 10. Поляризационные кривые цинка в коррозионной среде  
0,5 M NaCl и 0,493 M NaCl + 0,007 M NH<sub>4</sub>Cl  
Fig. 10. Polarization curves of zinc in a corrosive environment  
0,5 M NaCl and 0.493 M NaCl + 0.007 M NH<sub>4</sub>Cl

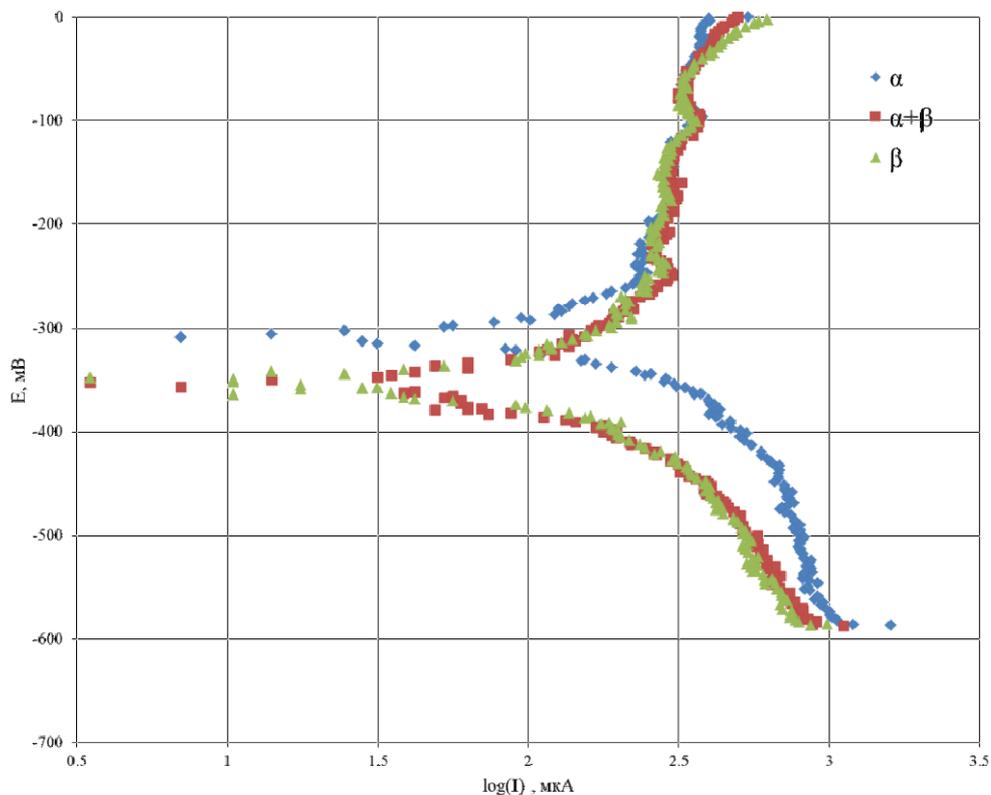


Рис. 11. Поляризационные кривые латуни различного состава в коррозионной среде 0,5 M NaCl  
Fig. 11. Polarization curves of brass of various compositions in a corrosive environment 0.5 M NaCl

Таблица 5

Ток коррозии латуни различного состава  
в коррозионной среде 0,5 М NaCl

Table 5

Corrosion current of brass of various compositions  
in a corrosive environment of 0.5 M NaCl

Латунь	Ток коррозии, мкА
$\alpha$	70
$\alpha+\beta$	113
$\beta$	88

Анализируя полученные зависимости методом экстраполяции, рассчитали ток коррозии для меди в первые 2 мин коррозии. Ток коррозии меди в растворе 0,5 М NaCl составил 38 мкА, в растворе 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl – 14 мкА.

На рис. 10 представлены поляризационные кривые цинка в коррозионных средах 0,5 М NaCl и 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl.

Анализируя полученную зависимость методом экстраполяции, рассчитали ток коррозии для цинка в растворе 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl в первые 2 мин коррозии. Ток коррозии составил 71 мкА. Ток коррозии

для цинка в растворе 0,5 М NaCl рассчитать не удалось.

На рис. 11 представлены поляризационные кривые латуни различного состава в коррозионной среде 0,5 М NaCl.

Анализируя полученные зависимости методом экстраполяции, рассчитали токи коррозии для латуней различного состава в первые 2 мин коррозии (результаты приведены в табл. 5).

Исходя из полученных данных следует:  $\alpha$ -латунь в первые 2 мин травления имеет наименьший ток коррозии; латунь состава  $\alpha+\beta$  имеет максимальный ток коррозии, что мо-

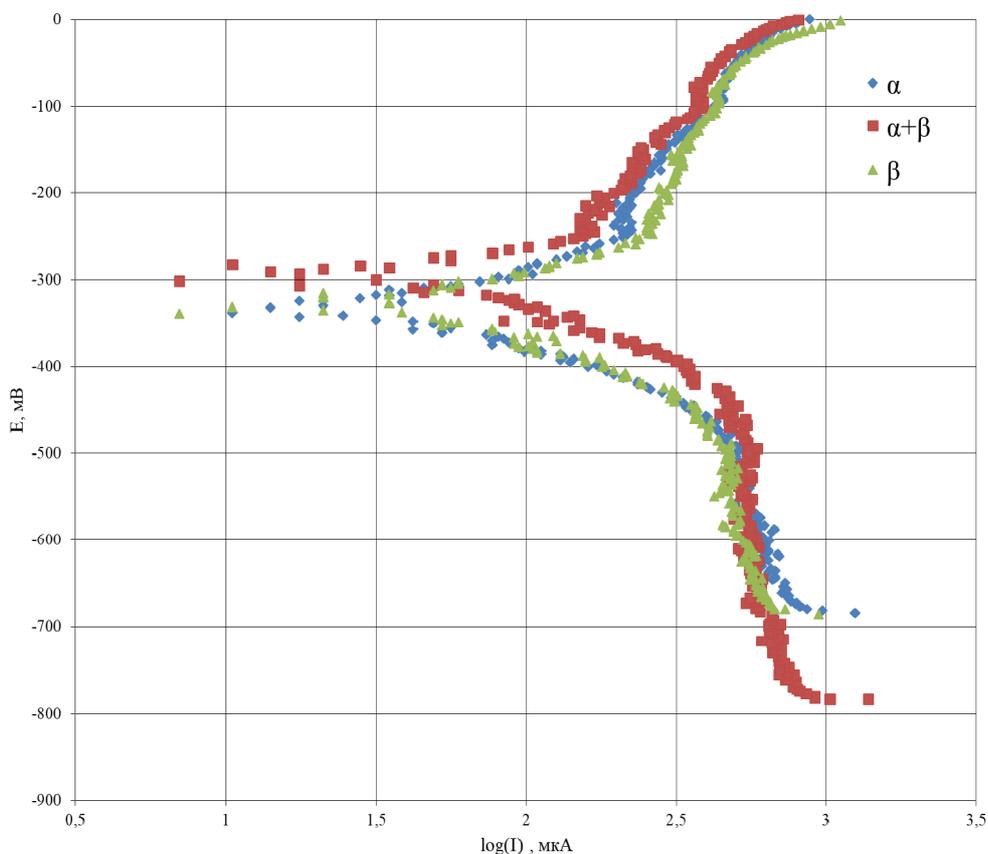


Рис. 12. Поляризационные кривые латуни различного состава в коррозионной среде 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl

Fig. 12. Polarization curves of brass of various compositions in a corrosive environment of 0.493 M NaCl + 0.007 M NH<sub>4</sub>Cl

Таблица 6

Ток коррозии латуни различного состава  
в коррозионной среде 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl

Table 6

Corrosion current of brass of various compositions  
in a corrosive environment of 0.493 M NaCl + 0.007 M NH<sub>4</sub>Cl

Латунь	Ток коррозии, мкА
α	37
α+β	44
β	42

Таблица 7

Коррозионно-электрохимические параметры исследуемых образцов

Table 7

Corrosion-electrochemical parameters of the studied samples

Образец	Потенциал в растворе 0,5 М NaCl через 7 ч травления, мВ	Потенциал в растворе 0,493 М NaCl + 0,007 М NH <sub>4</sub> Cl через 7 ч травления, мВ	Ток коррозии в растворе 0,5М NaCl в первые 2 мин травления, мкА	Ток коррозии в растворе 0,493 М NaCl + 0,007 М NH <sub>4</sub> Cl в первые 2 мин травления, мкА
α-латунь	-21	-37	70	37
(α+β)-латунь	-27	-84	113	44
β-латунь	-66	-104	88	42
Цинк	-790	-782	–	71
Медь	-10	-20	38	14

жет говорить о наиболее быстром процессе растворения.

На рис. 12 представлены поляризационные кривые латуни различного состава в коррозионной среде 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl.

Анализируя полученные зависимости методом экстраполяции, рассчитали токи коррозии для латуней различного состава в первые 2 мин коррозии (табл. 6).

Исходя из полученных данных следует: α-латунь в первые 2 мин травления имеет наименьший ток коррозии; латунь состава α+β и β имеет сопоставимые значения тока коррозии между собой, что может говорить о близкой скорости растворения.

Для удобства в табл. 7 сведены все значения потенциалов и токов коррозии образцов в растворах NaCl 0,5 М и 0,493 М NaCl + 0,007 М NH<sub>4</sub>Cl.

#### Выводы по результатам исследований

В процессе исследований были определены коррозионно-электрохимические параметры образцов меди, цинка, α-, β- и (α+β)-латуней в зависимости от времени травления в растворах хлорида натрия и растворе хлорида

натрия с добавлением хлорида аммония (данные сведены в табл. 7). Было проведено обесцинкование образцов α-, β- и (α+β)-латуней в растворе хлорида меди и определены токи коррозии данных латуней в растворах хлорида натрия и растворе хлорида натрия с добавлением хлорида аммония (см. табл. 7). Величина обесцинкования образцов для α-латуни – 450–500 мкм, α+β – 950–1000 мкм, β – 600–700 мкм. Согласно результатам эксперимента было определено, что максимальный ток коррозии имеет (α+β)-латунь в среде хлорида натрия и в среде хлорида натрия с добавлением хлорида аммония. Наличие максимального тока коррозии подтверждается результатами обесцинкования (максимальная величина глубины обесцинкования среди представленных образцов – 950–1000 мкм). Данное явление предположительно связано с образованием коррозионного элемента α- и β-фазы, имеющих разный химический состав.

В рамках продолжения исследования коррозионных свойств планируется провести измерения токов коррозии для двухфазных латуней с различным составом фаз, определить величину их обесцинкования.

### Список литературы

1. Анализ и исследование геометрических параметров инструмента с целью повышения качества поковок при штамповке корпусов латунных кранов / Д.О. Левин, В.А. Иванов, Д.А. Усов, С.С. Стругов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2023. Т. 23, № 2. С. 55–63. DOI: 10.14529/met230205
2. Изучение влияния технологических условий изготовления латунных водозапорных устройств на качество готовых изделий / Д.О. Левин, А.В. Сулицин, Н.Т. Карева, Д.М. Галимов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2022. Т. 22, № 3. С. 28–47. DOI: 10.14529/met220303
3. Влияние химического состава латуни типа ЛС59-1 на качество водозапорных изделий / Д.О. Левин, А.В. Сулицин, Н.Т. Карева, Д.М. Галимов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2022. Т. 22, № 4. С. 38–55. DOI: 10.14529/met220405
4. ГОСТ 15527–2004. Сплавы медно-цинковые (латуни), обрабатываемые давлением. Введ. 2005-07-01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. 11 с.
5. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справ.: в 3 т. / под общ. ред. Н.П. Лякишева. М.: Машиностроение, 1997. Т. 2. 1024 с.
6. Двойные и многокомпонентные системы на основе меди: справ. / М.Е. Дриц, Н.Р. Бочвар, Л.С. Гузей и др. М.: Наука, 1979. 218 с.
7. Промышленные цветные металлы и сплавы: справ. / под общ. ред. А.П. Смирягина. М.: Metallurgia, 1974. 488 с.
8. Мальцев М.В., Барсукова Т.А., Борин Ф.А. Металлография цветных металлов и сплавов. М.: Гос. науч.-техн. изд-во лит. по чер. и цвет. металлургии, 1960. 372 с.
9. Конструкционные материалы: справ. / Б.Н. Арзамасов, И.А. Бронстрем, Н.А. Буше и др.; под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. М.: Машиностроение, 1990. 688 с.
10. ГОСТ 859–2014. Медь. Марки. Введ. 2015-07-01. М.: Стандартинформ, 2020. 8 с.
11. ГОСТ 28057–89. Сплавы медно-цинковые. Метод определения стойкости к обесцинкованию. Введ. 1990-06-30. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. 11 с.
12. Семенова И.В. Коррозия и защита от коррозии. М.: Физматлит, 2002. 335 с.
13. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. М.: Metallurgia, 1976. 472 с.
14. Розенфельд ИЛ. Коррозия и защита металлов. М.: Metallurgia, 1969. 448 с.
15. Исаев Н.И. Теория коррозионных процессов: учеб. для вузов. М.: Metallurgia, 1997. 368 с.
16. Улиг Г.Г., Ревы Р.У. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику: пер. с англ. Л.: Химия, 1989. 456 с.

### References

1. Levin D.O., Ivanov V.A., Usov D.A., Strugov S.S. Analysis and study of geometric tool parameters with purpose increasing the quality of forgings during forging bodies of brass cranes. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2023;23(2):55–63. (In Russ.) DOI: 10.14529/met230205
2. Levin D.O., Sulitsin A.V., Kareva N.T., Galimov D.M. Effects of manufacturing technological conditions of brass water-locking devices on the quality of finished products. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2022;22(3):28–47. (In Russ.) DOI: 10.14529/met220303
3. Levin D.O., Sulitsin A.V., Kareva N.T., Galimov D.M. Effects of chemical composition of brass alloy type LS59-1 on the quality of ball valves. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2022;22(4):38–55. (In Russ.) DOI: 10.14529/met220405
4. GOST 15527–2004. *Splavy medno-tsinkovyye (latuni), obrabatyvayemye davleniyem. Vved. 2005-07-01* [State standard 15527–2004. Pressure treated copper zinc alloys (brasses). Enter. 2005-07-01]. Moscow: Izdatel'stvo standartov; 2004. 11 p. (In Russ.)
5. Lyakishev N.P. (Ed.). *Diagrammy sostoyaniya dvoynykh metallicheskih sistem: sprav.: v 3 t.* [Diagrams of the state of binary metal systems: reference: in 3 volumes]. Moscow: Mashinostroyeniye; 2001. Vol. 2. 1024 p. (In Russ.)
6. Drits M.E., Bochvar N.R., Guzei L.S. et al. *Dvoynye i mnogokomponentnye sistemy na osnove medi* [Binary and Multicomponent Copper Based Systems]. Moscow: Nauka; 1979. (In Russ.)
7. Smiryagin A.P. (Ed.). *Promyshlennyye tsvetnyye metally i splavy: sprav.* [Industrial non-ferrous metals and alloys: Ref. Moscow: Metallurgiya; 1974. 488 p. (In Russ.)

8. Mal'tsev M.V., Barsukova T.A., Borin F.A. *Metallografiya tsvetnykh metallov i spлавov* [Metallography of non-ferrous metals and alloys]. Moscow: Gosudarstvennoye nauchno-tekhnicheskoye izdatel'stvo literatury po chernoy i tsvetnoy metallurgii; 1960. 372 p. (In Russ.)
9. Arzamasov B.N. (Ed.). *Konstruktsionnye materialy: sprav.* [Structural Materials: Handbook]. Moscow: Mashinostroenie; 1990. 688 p. (In Russ.)
10. *GOST 859–2014. Med'. Marki. Vved. 2015-07-01* [State standard 859–2014. Copper. Marks. Enter. 2015-07-01]. Moscow: Standartinform; 2020. 8 p. (In Russ.)
11. *GOST 28057–89. Splavy medno-tsinkovye. Metod opredeleniya stoykosti k obestsinkovaniyu. Vved. 1990-06-30* [State standard 28057–89. Alloys are copper-zinc. Method for determining resistance to dezincification. Enter. 1990-06-30]. Moscow: USSR State Committee for Standards; 1989. 11 p. (In Russ.)
12. Semenova I.V. *Korroziya i zashchita ot korrozii* [Corrosion and corrosion protection]. Moscow: Fizmatlit; 2002. 335 p. (In Russ.)
13. Zhuk N.P. *Kurs teorii korrozii i zashchity metallov* [Course on the theory of corrosion and protection of metals]. Moscow: Metallurgiya; 1976. 472 p. (In Russ.)
14. Rosenfeld I.L. *Korroziya i zashchita metallov* [Corrosion and protection of metals]. Moscow: Metallurgiya; 1969. 448 p. (In Russ.)
15. Isaev N.I. *Teoriya korroziyonnykh protsessov: uchebnyk dlya vuzov* [Theory of corrosion processes: textbook for universities]. Moscow: Metallurgiya; 1997. 368 p. (In Russ.)
16. Ulig G.G., Revi R.U. *Korroziya i bor'ba s ney. Vvedenie v korroziyonnyuyu nauku i tekhniku* [Corrosion and the fight against it. Introduction to corrosion science and technology]. Transl. from Engl. Leningrad: Khimiya; 1989. 456 p. (In Russ.)

#### **Информация об авторах**

**Левин Дмитрий Олегович**, исполнительный директор, ООО «ЛД Прайд», Челябинск, Россия; office@ld-pride.ru.

**Усов Денис Алексеевич**, начальник технического отдела, ООО «ЛД Прайд», Челябинск, Россия; udaldpride@gmail.com.

**Шевченко Константин Александрович**, конструктор, ООО «ЛД Прайд», Челябинск, Россия; shka\_chsgs@mail.ru.

**Стругов Сергей Сергеевич**, технолог, ООО «ЛД Прайд», Челябинск, Россия; strugov\_s174@mail.ru.

#### **Information about the authors**

**Dmitriy O. Levin**, Executive Director, LLC “LD Pride”, Chelyabinsk, Russia; office@ld-pride.ru.

**Denis A. Usov**, Head of the Technical Department, LLC “LD Pride”, Chelyabinsk, Russia; udaldpride@gmail.com.

**Konstantin A. Shevchenko**, Constructor, LLC “LD Pride”, Chelyabinsk, Russia; shka\_chsgs@mail.ru.

**Sergey S. Strugov**, Technologist, LLC “LD Pride”, Chelyabinsk, Russia; strugov\_s174@mail.ru.

**Статья поступила в редакцию 11.08.2023**

**The article was submitted 11.08.2023**