

УДК 620.196

А.В. Кобзарук, О.И. Стальниченко, Б.В. Смажило

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ МАТЕРИАЛА АРМАТУРЫ  
СУДОВОЙ СИСТЕМЫ СЖАТОГО ВОЗДУХА**

*Для выявления причин выхода из строя латунной арматуры судовой системы сжатого воздуха с целью замены материала арматуры более стойкой в агрессивной среде бронзой, разработана методика и проведены сравнительные коррозионно-усталостные испытания образцов, изготовленных из латуни ЛН 56-3 и бронзы Бр.АМц 9-2. Опыты проведены в специальном медно-аммиачном растворе, аналогичном среде, накапливающейся в системе сжатого воздуха в результате конденсации в ней паров аммиака. Результаты испытаний подтверждают целесообразность замены латунной арматуры на бронзовую и позволяют рекомендовать внедрение данной разработки на другие суда.*

**Ключевые слова:** судовая система сжатого воздуха, медно-аммиачная среда, коррозионно-усталостная прочность латуни и бронзы.

*Для виявлення причин виходу з ладу латунної арматури судової системи стисненого повітря з метою заміни матеріалу арматури більш стійкою в агресивному середовищі бронзою, розроблена методика і проведені порівняльні корозійно-втомні випробування зразків, виготовлених з латуні ЛН 56-3 і бронзи Бр.АМц 9-2. Досліди проведені в спеціальному мідно-аміачному розчині, аналогічному середовищі, що накопичується в системі стисненого повітря в результаті конденсації в ній парів аміаку. Результати випробувань підтверджують доцільність заміни латунної арматури на бронзову і дозволяють рекомендувати впровадження даної розробки на інші судна.*

**Ключові слова:** суднова система стисненого повітря, мідно-аміачне середовище, корозійно-втомна міцність латуні та бронзи.

*In order to detect failure reasons of brass fittings of ship compressed air system with aim to replace fittings material with bronze, which is more resistant to the aggressive environment, we have developed the methodology and conducted comparative corrosion and fatigue tests of specimens made of brass ЛН 56-3 and bronze Бр.АМц 9-2. The trials are conducted in the special cuprammonium solution similar to the environment accumulated in the compressed air system due to vapor ammonia condensation. Test results demonstrate appropriateness in replacement of brass fittings with bronze ones and allow us to recommend the implementation of this development on the other ships.*

**Keywords:** ship compressed air system, cuprammonium environment, corrosion-fatigue strength of brass and bronze.

---

© Кобзарук А.В., Стальниченко О.И., Смажило Б.В., 2015

На ряде судов морского и рыбопромыслового флота в эксплуатационных условиях отмечены коррозионно-механические трещины в корпусах латунной арматуры системы сжатого воздуха. В результате анализа отказов такой арматуры была выявлена причина выхода ее из строя. Осмотр дефектных деталей и анализ конденсата, накапливающего в системе сжатого воздуха, позволил заключить, что в системе накапливается водо-масляная эмульсия медно-аммиачного состава, что в сочетании с механическими нагрузками, возникающими при монтаже вызвало появление усталостных трещин в арматуре системы сжатого воздуха преимущественно в местах ответвлений трубопроводов. На основании вышеизложенного для увеличения срока службы системы сжатого воздуха на части судов арматура из латуни ЛН 56-3 заменена бронзовой марки Бр. АМц 9-2. В результате испытания в рабочих условиях бронзовой арматуры в течение года был получен положительный результат.

С целью внедрения данной разработки на суда с латунной арматурой для получения сравнительных данных по коррозионно-механической стойкости материалов арматуры были проведены исследования пробных образцов из вышеуказанных материалов на их коррозионную прочность и долговечность при циклических нагрузках.

Механические свойства исследуемых материалов следующие:

$$\text{ЛН 56-3} \quad \sigma_b = 450 \text{ МПа} \quad \delta = 25 \%:$$

$$\text{Бр. АМц 9-2} \quad \sigma_b = 520 \text{ МПа} \quad \delta = 15 \%.$$

На основании анализа водо-масляной эмульсии, накапливающейся в системе сжатого воздуха в процессе ее эксплуатации, представилось целесообразным испытать материалы на воздухе и в медно-аммиачном растворе, содержащем около 150 мг/л Си и 40 мг/л NH, приготовленном растворением в дистиллированной воде медного купороса и нашатырного спирта. По данным предварительных стандартных испытаний образцов размером 5 x 20 мм из латуни и бронзы на многоцикловую усталость в вышеуказанных средах получены следующие результаты, свидетельствующие, что образцы из бронзы обладают более высокой долговечностью, чем из латуни (табл.).

*Таблица*

*Сравнительная характеристика материалов  
при многоциклового усталости в медно-аммиачном растворе*

Число циклов до разрушения, $N \cdot 10^6$		
Напряжения, МПа	ЛН 56-3	Бр. АМц 9-2
100	3,74	6,75
140	1,07	3,90

Испытания на малоцикловую усталость проводили на гладких образцах с сечением рабочей части 2,5х6 мм, нагружаемых синусоидальным отнулевым жестким циклом. Сравнительные характеристики материалов при малоцикловой усталости получали при длительных (в течение 12-120 суток) испытаниях, осуществленных с частотой 1,67 мГц; оценивали долговечность материалов также при частотах нагружения 16,7 и 167 мГц в диапазоне деформации  $\varepsilon = 0,5 - 1,5$  %. При оценке малоцикловой долговечности учитывали также влияние анизотропии бронзовых образцов (образцы вырезали вдоль и поперек направления проката) и термообработки (закалка в воду при  $680 \pm 20$  °С). Испытания проведены на воздухе лабораторного помещения и в медно-аммиачном растворе, заливаемом в резиновую ячейку, одетую непосредственно на образец; жидкость сообщалась с атмосферой. Приготовленный раствор, хранился в течение 7 суток в закупоренной стеклянной посуде. Смена жидкости в ячейках проводилась ежесуточно. Результаты испытаний представлялись в виде усталостных кривых (число циклов до разрушения  $N$ ) в зависимости от величины циклической деформации ( $\varepsilon$  %) (рис. 1-4).

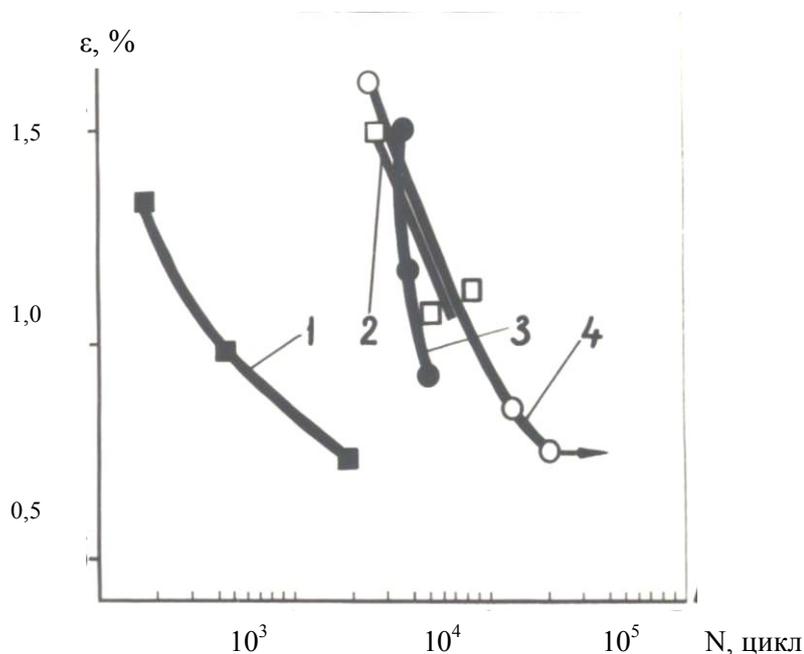


Рис. 1. Сравнительная характеристика двух материалов при малоцикловом жестком нагружении с частотой 1,67 мГц:  
1, 2 – ЛН 56-3; 3, 4 – Бр. АМц 9-2;  
□ ○ – воздух    ■ ● – раствор

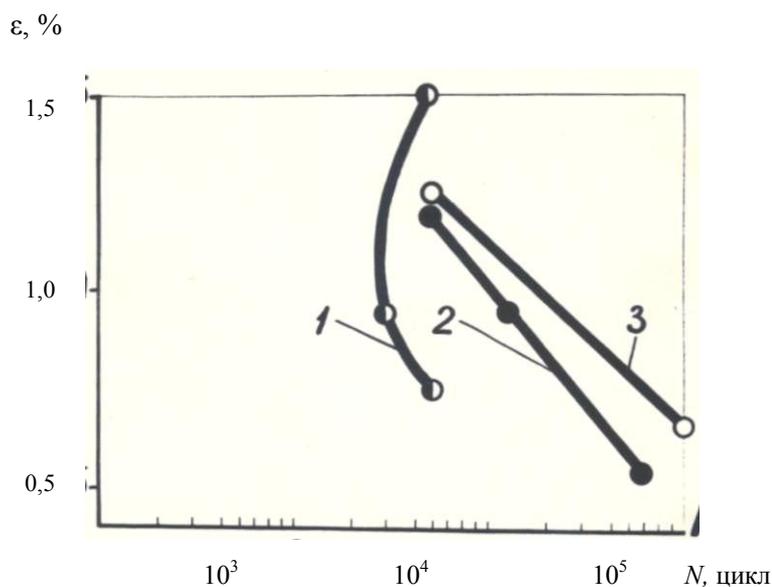


Рис. 2. Влияние термообработки на малоцикловую долговечность бронзовых образцов, вырезанных поперек проката:

1 – термообработанные образцы; 2, 3 – без обработки;

$\nu = 16,7$  мГц

○ – воздух; ● – раствор

На основе анализа экспериментальных данных можно заключить следующее. Как на воздухе, так и в медно-аммиачном растворе малоцикловая долговечность бронзовых образцов выше латунных. Разница в стойкости к малоциклового разрушению у исследуемых материалов особенно заметна при высоком уровне циклической деформации ( $\epsilon = 1,3-1,5$  %); снижение величины деформации до значения 0,7-1,0 % приводит к уменьшению разницы малоциклового долговечности бронзовых и латунных образцов (рис. 1).

Присутствие медно-аммиачного раствора мало влияет на малоцикловую долговечность бронзовых образцов (рис. 1, 2), долговечность же латунных образцов в указанном растворе (рис 1, 4) снижается по сравнению с испытаниями на воздухе в 3-4 раза. Снижение частоты нагружения со 167 до 1,67 мГц приводит к увеличению времени воздействия агрессивной среды и способствует значительному уменьшению (на порядок) долговечности латунных образцов в медно-аммиачной среде в сравнении с испытаниями на воздухе (рис. 4). Влияние частоты нагружения на малоцикловую долговечность бронзовых образцов менее заметно.

Термообработка бронзовых образцов значительно снижает их долговечность в медно-аммиачном растворе; указанное особенно заметно при снижении уровня циклической деформации, вызывающего увеличение времени влияния среды (рис. 2).

Долговечность бронзовых образцов, вырезанных поперек направления проката, несколько меньше долговечности образцов, вырезанных вдоль направления проката (рис. 3). Не зависимо от величины циклической деформации в диапазоне 0,75-1,5 %, разрушение бронзовых образцов происходит приблизительно за одно и то же число циклов (рис. 1-3).

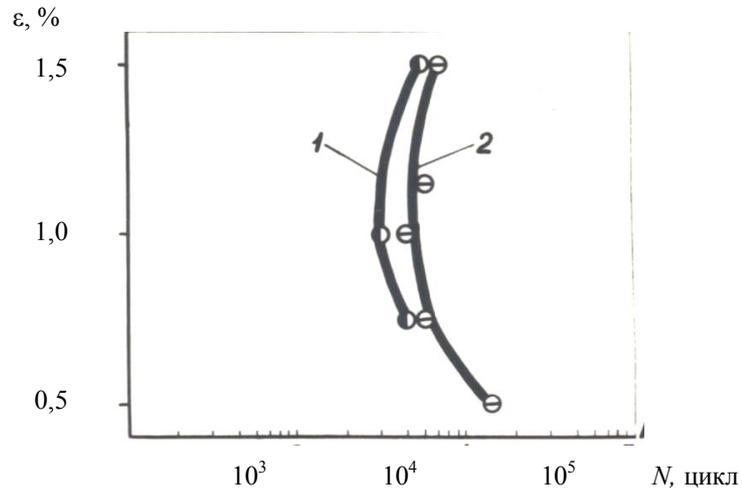


Рис. 3. Влияние анизотропии термообработанных бронзовых образцов при МЦУ в медно-аммиачном растворе:  
1 – образцы, вырезанные поперек проката;  
2 – образцы, вырезанные вдоль проката;  $\nu = 16,7$  МГц

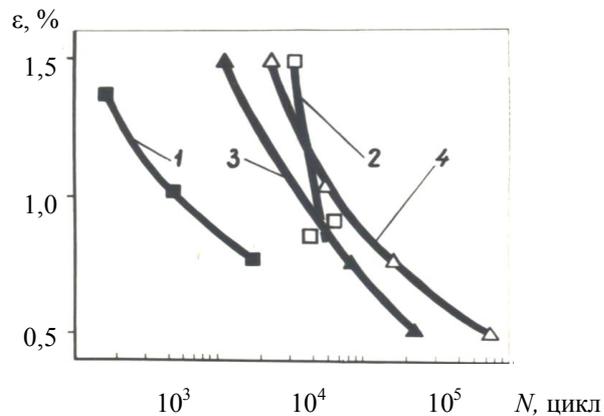


Рис. 4. Влияние частоты нагружения на долговечность латунных образцов: 1, 2 – 0,1 цикл/мин.; 3, 4 – 10 цикл/мин.;  
■ ▲ – медно-аммиачный раствор; □ Δ – воздух

Проведенными испытаниями показано, что коррозионно-механические свойства бронзы марки Бр. АМц 9-2 выше, чем у латуни марки ЛН 56-3, что особенно заметно в агрессивной медно-аммиачной среде.

Вышеуказанное подтверждает целесообразность замены латунной арматуры системы высокого давления бронзовой марки Бр. АМц 9-2, как одно из мероприятий по повышению живучести системы сжатого воздуха и дает основание рекомендовать такое мероприятие на морские и речные суда с аналогичной латунной арматурой.

*Стаття надійшла до редакції 10.04.2015 р.*

**Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор кафедри «Судноремонт»  
Одеського національного морського університету **А.В. Шахов**

доктор технічних наук, професор Одеського національного  
морського університету **А.В. Коноплев**