

EDN: KWVRGZ

УДК 669.745 3.018

About The Influence of Chromium on the Damping Capacity of Mn – 40 % Cu Alloy in the Field of Small Oscillation Amplitudes

Sergey B. Naumov and Svetlana V. Ginne*

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
Krasnoyarsk, Russian Federation*

Received 20.02.2023, received in revised form 20.04.2023, accepted 08.08.2023

Abstract. The results of a study of the influence of chromium on the damping capacity of manganese-copper alloys in the field of small oscillation amplitudes are presented in the article. High damping alloys based on Mn – Cu can be effectively used to reduce vibration and noise. However, the high damping capacity of these alloys decreases over time. Studies that determine the influence of various alloying elements on the magnitude and stability of the damping capacity of Mn – Cu double alloys in the field of small oscillation amplitudes are not enough. In the work the effect of chromium in concentrations (0.6 ... 1.2) % on the damping capacity of the Mn – 40 % Cu alloy in the field of small oscillation amplitudes was elucidated. Manganese-copper alloys were smelted in an induction furnace followed by casting into cast-iron molds. From the melted ingots samples for studies with dimensions $(11 \times 15 \times 117) \pm 1$ mm were obtained by mechanical cutting. During the experiment, the studied samples were subjected to aging at a temperature of 643 K for (0,5 ... 40) hours. The change in the damping capacity of manganese-copper alloys (the logarithmic decrement of attenuation of oscillations) was analyzed for longitudinal oscillations of the samples in the frequency range (14 ... 17) kHz and the amplitudes of the relative shift $(1 \dots 3) \times 10^{-6}$. The data obtained indicate that alloying the Mn – 40 % Cu alloy with chromium from 0,6 % to 1,2 % does not increase its damping capacity in the cast state, as well as in the cast and aged at a temperature of 643 K for 40 hours. It was found that the minimum values of the frequencies of resonant vibrations of samples of manganese-copper alloys precede the maximum levels of the damping capacity of these alloys. It's revealed that the high damping capacity of cast and aged at 643 K for 40 hours alloys Mn – 40 % Cu, Mn – (38,8 ... 39,4) % Cu – (0,6 ... 1,2) % Cr after natural aging at 293 K for 7 months decreases by (1,6 ... 1,9) times.

Keywords: damping, damping capacity, alloys based on Mn – Cu.

Citation: Naumov, S.B., Ginne, S.V. About the influence of chromium on the damping capacity of Mn – 40 % Cu alloy in the field of small oscillation amplitudes. J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2023, 16(6), 667–675.
EDN: KWVRGZ



О действии хрома на демпфирующую способность сплава Mn – 40 % Cu в области малых амплитуд колебаний

С. Б. Наумов, С. В. Гиннэ

*Сибирский государственный университет науки
и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, Красноярск*

Аннотация. В статье представлены результаты исследования действия хрома на демпфирующую способность марганцево-медных сплавов в области малых амплитуд колебаний. Сплавы высокого демпфирования на основе Mn – Cu можно эффективно применять для уменьшения вибрации и шума. Однако высокая демпфирующая способность этих сплавов со временем снижается. Исследований, определяющих влияние различных легирующих элементов на величину и стабильность демпфирующей способности двойных сплавов Mn – Cu в области малых амплитуд колебаний, недостаточно. В настоящей работе выяснили действие хрома в концентрациях (0,6 ... 1,2) % на демпфирующую способность сплава Mn – 40 % Cu в области малых амплитуд колебаний. Марганцево-медные сплавы выплавляли в индукционной печи с последующим литьем в чугунные изложницы. Из полученных слитков механической обработкой резанием изготавливали образцы для исследований размерами $(11 \times 15 \times 117) \pm 1$ мм. В ходе эксперимента исследуемые образцы подвергали старению при температуре 643 К в течение (0,5 ... 40) часов. Анализировали изменение демпфирующей способности марганцево-медных сплавов (логарифмический декремент затухания колебаний) при продольных колебаниях образцов в диапазоне частот (14 ... 17) кГц и амплитудах относительного сдвига $(1 \dots 3) \cdot 10^{-6}$. Полученные данные свидетельствуют о том, что легирование сплава Mn – 40 % Cu хромом от 0,6 % до 1,2 % не повышает его демпфирующую способность в литом состоянии, а также в литом и состаренном при температуре 643 К в течение 40 часов состоянии. Установлено, что минимальные значения частот резонансных колебаний образцов марганцево-медных сплавов предшествуют максимальным уровням демпфирующей способности этих сплавов. Выявлено, что высокая демпфирующая способность литых и состаренных при 643 К в течение 40 часов сплавов Mn – 40 % Cu, Mn – (38,8 ... 39,4) % Cu – (0,6 ... 1,2) % Cr после естественного старения при 293 К в течение 7 месяцев снижается в (1,6 ... 1,9) раза.

Ключевые слова: демпфирование, демпфирующая способность, сплавы на основе Mn – Cu.

Цитирование: Наумов С. Б. О действии хрома на демпфирующую способность сплава Mn – 40 % Cu в области малых амплитуд колебаний / С. Б. Наумов, С. В. Гиннэ // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2023, 16(6). С. 667–675. EDN: KWVRGZ

Введение

Машины и механизмы, используемые в современном промышленном производстве, как правило, характеризуются высокими скоростями перемещения. В результате этого появляются вибрации и шумы, способствующие снижению надёжности работы технологического оборудования и конструкций, ухудшению условий труда и возникновению профессиональных заболеваний [1–3]. Авторы работы [4] отмечают, что уменьшение шума и вибронегруженности транспортно-технологических машин включает в себя борьбу с вибрациями и шумом в источнике и на путях их распространения. Для этого применяют вибропоглощающие полимерные композиционные материалы, слоистые вибропоглощающие покрытия и конструкции, аморти-

зирующие конструкции, средства звукоизоляции на основе высокопористых ячеистых материалов [5, 6]. Марганцево-медные сплавы высокого демпфирования широко используются при защите от шумов и вибраций, поскольку они эффективно рассеивают вибрации и шумы при малых (порядка 10^{-8} ... 10^{-6} относительной деформации) и значительных (порядка 10^{-4} ... 10^{-3} относительной деформации) амплитудах деформации, а также обладают хорошими механическими и удовлетворительными технологическими свойствами. Считают, что высокая демпфирующая способность сплавов на основе Mn – Cu при малых амплитудах деформации (области амплитудно-независимого демпфирования) обеспечивается внутренними напряжениями, вызванными дефектами кристаллического старения, а при значительных амплитудах деформации движением двойников мартенситной гранецентрированной тетрагональной (ГЦТ) фазы, полученной в результате мартенситного ГЦК – ГЦТ превращения [7–9]. При этом обнаружено, что высокая демпфирующая способность сплавов на основе Mn – Cu, достигнутая в процессе термообработки по оптимальному режиму, значительно понижается после естественного старения при температуре 293 К при малых и значительных амплитудах деформаций относительного сдвига [8, 10].

Легирование марганцево-медных сплавов высокого демпфирования указывается в качестве продуктивного способа улучшения физико-механических свойств данных сплавов [11–14]. В связи с чем целью данной работы является исследование влияния хрома на демпфирующую способность марганцево-медных сплавов в области малых амплитуд колебаний, достижение которой требует выполнения следующих задач: изучить действие хрома в концентрациях (0,6 ... 1,2) % на демпфирующую способность двойного сплава Mn – 40 % Cu в литом состоянии, после литья и старения при температуре 643 К в течение 40 часов, естественного старения при 293 К в течение 7 месяцев.

Материал и методика эксперимента

С целью выявления действия хрома на демпфирующую способность базового сплава Mn – 40 % Cu были взяты его концентрации от 0,6 % до 1,2 %. В табл. 1 приведён состав исследуемых сплавов на основе сплава Mn – 40 % Cu.

В качестве шихтового материала использовали электролитический марганец Мр0 и Мр1, катодную медь М0, хром в медной лигатуре Cu – 10 % Cr. Марганцево-медные сплавы выплавляли в индукционной печи под слоем криолита. Разливку расплава проводили с температур (1673 ... 1723) К сверху в плоские чугунные изложницы, подогретые до температур (423 ... 473)

Таблица 1. Состав сплавов на основе Mn – Cu

Table 1. Composition of alloys based on Mn – Cu

Сплав	Химический состав по шихте (% , по массе)		
	Mn	Cu	Cr
1	60	40	–
2	60	39,4	0,6
3	60	39,04	0,96
4	60	38,8	1,2

К и смазанные канифолью. Слитки массой 5 кг фрезеровали и разрезали на образцы размерами $(11 \times 15 \times 117) \pm 1$ мм. Образцы подвергали старению в муфельной печи при температуре 643 К в течение (0,5 ... 40) часов.

Демпфирующую способность (логарифмический декремент затухания колебаний) изучали при продольных колебаниях образцов на установке «Эластомат» в диапазоне частот (14 ... 17) кГц и амплитуд относительного сдвига $(1 \dots 3) \cdot 10^{-6}$. Относительное рассеяние ψ (затухание) определяли по формуле (1):

$$\psi = 2\delta \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где δ – логарифмический декремент.

Ошибка измерения указанным методом составляла (2 ... 4) %. Погрешность измерений резонансной частоты колебаний на установке «Эластомат» не превышала 0,1 Гц.

На рис. 1 представлены зависимости демпфирующей способности двойного сплава Mn – 40% Cu и сплавов на его основе, легированных (0,6 ... 1,2) % хрома после литья в чугунные изложницы и искусственного старения при температуре 643 К в течение 40 часов с охлаждением на воздухе. Видно, что в литом состоянии повышение содержания хрома от 0,6 до 1,2 % при-

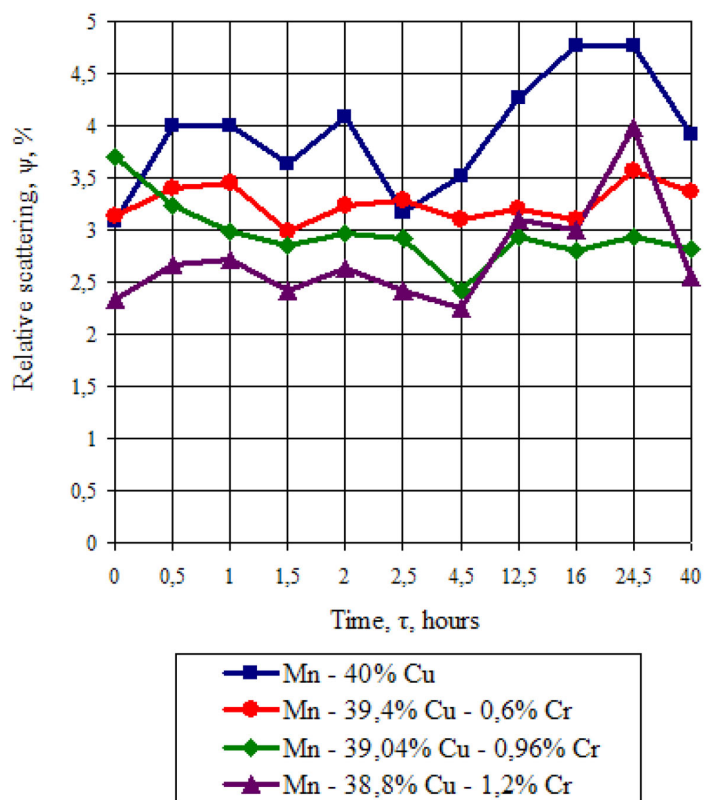


Рис. 1. Зависимости демпфирующей способности, ψ , литых сплавов Mn – Cu от времени старения, τ , при температуре 643 К в течение 40 часов

Fig. 1. Dependences of the damping capacity, ψ , of the cast Mn – Cu alloys on the aging time, τ , at a temperature of 643 K

водит сначала к увеличению демпфирующей способности до 3,7 %, а затем к её уменьшению до 2,3 %. Старение исследуемых литых сплавов при 643 К в течение (0,5 ... 1,0) часа повышает демпфирующую способность в сплавах с 0,6 % и 1,2 % хрома с 3,1 % и 2,3 % до 3,4 % и 2,7 % соответственно. Искусственное старение в течение (0,5 ... 1,0) часа приводит к уменьшению демпфирующей способности литого сплава с 0,96 % хрома с 3,7 % до 3,0 %.

В двойном сплаве Mn – 40 % Cu старение при 643 К в течение (0,5 ... 1,0) часа приводит к получению большего уровня демпфирующей способности ($\psi = 4,0$ %), чем в легированных хромом сплавах ($\psi = 2,7$ % и $\psi = 3,4$ %). Нагрев при 643 К 1,5 часа вызывает уменьшение демпфирующей способности во всех сплавах Mn – Cu. При этом наибольшие уменьшения демпфирующей способности наблюдаются в сплавах с 0,6 % и 1,2 % хрома. Старение при 643 К в течение 2 часов приводит к увеличению, а в течение 2,5 часов к уменьшению демпфирующей способности сплавов Mn – Cu. Старение при 643 К 4,5 часа приводит к уменьшению демпфирующей способности в легированных хромом сплавах и её увеличению в сплаве Mn – 40 % Cu. Дальнейшие выдержки (12,5 ... 24,5) часов при 643 К приводят к получению максимальных величин демпфирующей способности во всех исследуемых сплавах. Нагрев при 643 К в течение 40 часов приводит к уменьшению демпфирующей способности в двойном и легированных хромом сплавах Mn – Cu.

На рис. 2 представлены изменения частот резонансных колебаний литых сплавов Mn – 40 % Cu, Mn – (38,8 ... 39,4) % Cu – (0,6 ... 1,2) % Cr. Из рис. 2 видно, что старение сплавов на ос-

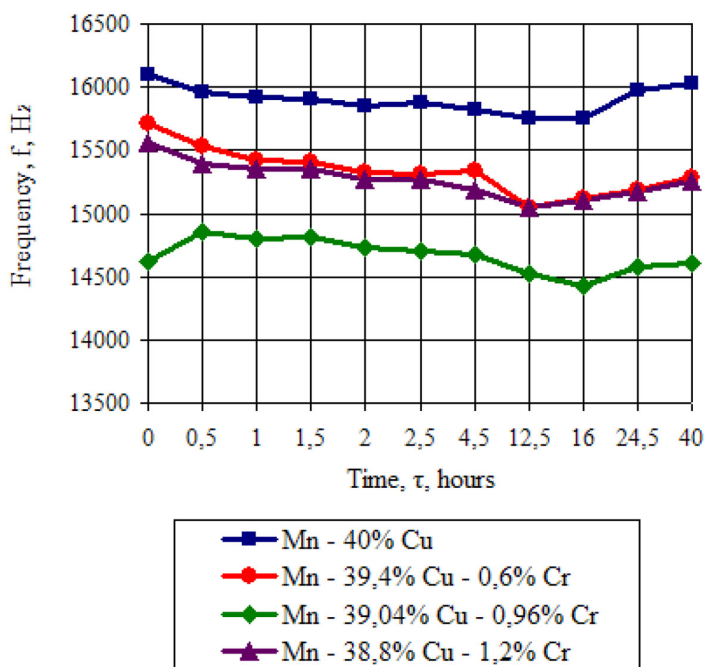


Рис. 2. Изменение частоты резонансных колебаний, f , литых сплавов Mn – Cu от времени старения, τ , в течение 40 часов при температуре 643 К

Fig. 2. Change of the frequency of resonant oscillations, f , of the cast Mn – Cu alloys on the aging time, τ , for 40 hours at a temperature of 643 K

нове сплава Mn – 40 % Cu при 643 К в течение (0,5 ... 40) часов приводит сначала к снижению частот резонансных колебаний, а затем к их повышению. При этом минимальные значения частот резонансных колебаний у всех сплавов на основе Mn – Cu наблюдаются после 16 часов старения при температуре 643 К.

На рис. 3 представлены зависимости изменения демпфирующей способности исследуемых сплавов на основе сплава Mn – 40 % Cu при естественном старении 293 К на протяжении 7 месяцев. Рис. 3 показывает, что демпфирующая способность литых и состаренных при 643 К в течение 40 часов сплавов Mn – Cu снижается при естественном старении на протяжении 7 месяцев. При этом наибольшее снижение относительного рассеяния, в 2,2 раза, наблюдается в двойном сплаве Mn – 40 % Cu. Однако и первоначальный уровень демпфирующей способности в этом сплаве был получен выше, чем в сплавах на его основе, содержащих (0,6 ... 1,2) % хрома. В сплавах с 0,6 %, 0,96 % и 1,2 % хрома относительное рассеяние снизилось после 7 месяцев естественного старения при 293 К в 1,9; 1,8 и 1,6 раза соответственно.

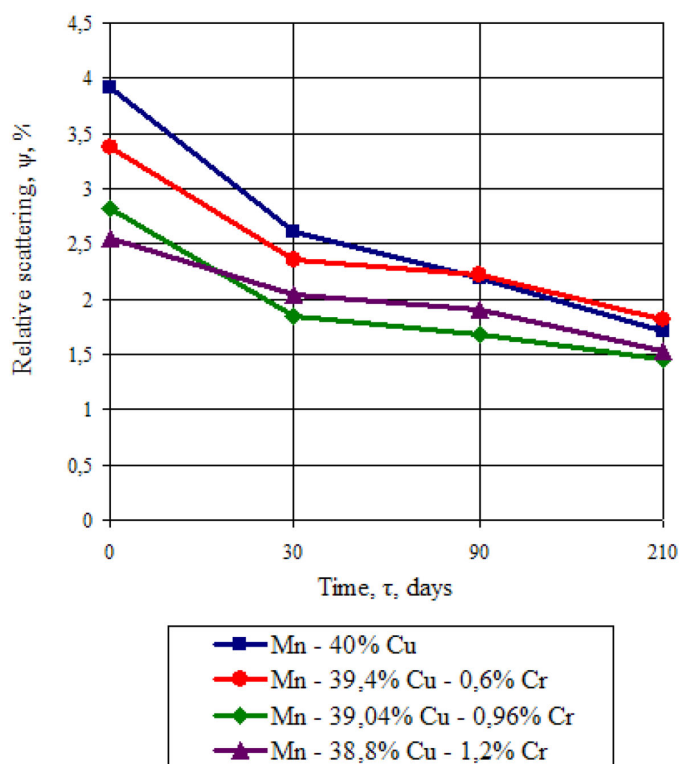


Рис. 3. Изменение демпфирующей способности, ψ , сплавов Mn – Cu, литых и состаренных при 643 К в течение 40 часов, при естественном старении, τ , до 7 месяцев при 293 К

Fig. 3. Change of the damping capacity, ψ , of the Mn – Cu alloys, which were cast and aged at 643 K for 40 hours, at natural aging, τ , up to 7 months at 293 K

Результаты исследования и их обсуждение

Выполненное исследование показало, что сплавы Mn – 40 % Cu, Mn – (38,8 ... 39,4) % Cu – (0,6 ... 1,2) % Cr, отлитые в чугунные изложницы и затем состаренные при температуре 643 К в течение (0,5 ... 40) часов, имеют различные уровни демпфирующей способности. Большим уровнем демпфирующей способности от 3,6 до 4,7 % обладают литые сплавы, состаренные при температуре 643 К. Демпфирующая способность литых сплавов составила (2,3 ... 3,7) %. Указанная разница величин демпфирующей способности в литых сплавах, очевидно, обусловлена имеющимися отличиями в скоростях охлаждения сплавов Mn – Cu. Более высокие скорости охлаждения приводят к задержке расслоения γ -твёрдого раствора Mn – Cu на области, обогащённые и обеднённые марганцем, что в дальнейшем вызывает образование мартенситной ГЦТ фазы, отвечающей за высокое демпфирование в сплавах на основе Mn – Cu [7–9].

Старение литых сплавов Mn – 40 % Cu, Mn – 38,8 % Cu – 1,2 % Cr при 643 К способствует получению в них большей демпфирующей способности, чем в литом состоянии. В литых сплавах Mn – 39,4 % Cu – 0,6 % Cr, Mn – 39,04 % Cu – 0,96 % Cr старение при 643 К в течение (0,5 ... 40) часов не привело к повышению их уровня демпфирующей способности, а в литом сплаве Mn – 39,04 % Cu – 0,96 % Cr демпфирующая способность в 3,7 % снизилась до (2,4 ... 3,0) %. Такое снижение исходно высокой демпфирующей способности свидетельствует о том, что γ -твёрдый раствор Mn – Cu этого сплава охлаждался с меньшей скоростью, чем другие исследуемые сплавы. В результате меньшей скорости охлаждения в изложнице в литом сплаве Mn – 39,04 % Cu – 0,96 % Cr прошло оптимальное расслоение γ -твёрдого раствора Mn – Cu по марганцу, в результате чего образовалась мартенситная ГЦТ фаза, ответственная за высокую демпфирующую способность в сплавах на марганцево-медной основе [7–9].

Известно, что частота колебаний связана с модулем нормальной упругости, минимум которого в сплавах на основе Mn – Cu соответствует максимуму их демпфирующей способности [7, 8]. Зависимости изменения частоты резонансных колебаний от времени старения при 643 К исследуемых сплавов на основе сплава Mn – 40 % Cu (рис. 2) демонстрируют минимумы, которые предшествуют высоким уровням демпфирующей способности данных сплавов.

Зависимости изменения демпфирующей способности литых и состаренных при температуре 643 К сплавов Mn – 40 % Cu, Mn – (38,8 ... 39,4) % Cu – (0,6 ... 1,2) % Cr (рис. 3) показывают, что легирование хромом не способствует сохранению высокого уровня демпфирующей способности двойного сплава Mn – 40 % Cu.

Заключение

1. Проведённое исследование действия хрома на демпфирующую способность сплава Mn – 40 % Cu в литом состоянии показало, что легирование хромом в концентрациях (0,6 ... 1,2) % не повышает уровень демпфирующей способности данного сплава в литом состоянии.

2. Уровни демпфирующей способности литых сплавов Mn – (38,8 ... 39,4) % Cu – (0,6 ... 1,2) % Cr, состаренных при температуре 643 К в течение 40 часов, не превышают уровень демпфирования двойного сплава Mn – 40 % Cu.

3. Легирование сплава Mn – 40 % Cu (0,6 ... 1,2) % хрома не способствует существенному сохранению его высокого уровня демпфирования при температуре естественного старения

(293 К) в области малых амплитуд деформаций ($10^{-6} \dots 10^{-5}$) относительного сдвига – области амплитудно-независимого демпфирования. Высокий уровень демпфирующей способности литых и состаренных при 643 К в течение 40 часов сплавов Mn – 40 % Cu, Mn – (38,8 ... 39,4) % Cu – (0,6 ... 1,2) % Cr после естественного старения при 293 К в течение 7 месяцев снижается в (1,6 ... 1,9) раза.

4. Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологических процессов производства демпфирующих сплавов на марганцево-медной основе.

Список литературы / References

[1] Миндрин В. И., Пачурин Г. В., Ребрушкин М. Н. Виды и причины вибрации энергетических машин. *Современные наукоёмкие технологии*, 2015, 5, 32–36 [Mindrin V. I., Pachurin G. V., Rebrushkin M. N. Types and causes of vibration of power machines, *Modern science-intensive technologies*, 2015, 5, 32–36 (in Rus.)]

[2] Берестоцкий Э. Г., Гладилин Ю. А., Ященко А. М. Шумы и вибрации судовой корпусной и пультовой радиоэлектронной аппаратуры. *Судостроение*, 2020, 6, 38–40 [Berestotsky E. G., Gladilin Yu. A., Yaschenko A. M. Noises and vibrations of ship hull and console electronic equipment, *Shipbuilding*, 2020, 6, 38–40 (in Rus.)]

[3] Ворожейкина Т. С., Голдобин В. Н., Губарева С. П., Заозерская С. Л., Малышева С. В., Савичева Н. М., Федосеева Г. Н., Филиппов А. А., Царева Л. Г. Оценка влияния шума и вибрации на состояние здоровья работающих на ФГУП «ГКНПц им. М. В. Хруничева». *Медицина экстремальных ситуаций*, 2015, 3(53), 87–90 [Vorozheykina T. S., Goldobin V. N., Gubareva S. P., Zaozerskaya S. L., Malysheva S. V., Savicheva N. M., Fedoseeva G. N., Filippov A. A., Tsareva L. G. Evaluation of the impact of noise and vibration on the health of workers at the Federal State Unitary Enterprise «GKNPcs im. M. V. Khrunichev», *Emergency medicine*, 2015, 3(53), 87–90 (in Rus.)]

[4] Вахидов У. Ш., Китов А. Г., Сочин А. В., Шапкин В. А., Шапкина Ю. В. Параметры шума и вибрации транспортных и технологических машин. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, 2014, 7, 8–11 [Vakhidov U. Sh., Kitov A. G., Sochin A. V., Shapkin V. A., Shapkina Yu. V. Noise and vibration parameters of transport and technological machines, *International Journal of Applied and Basic Research*, 2014, 7, 8–11 (in Rus.)]

[5] Ионов А. В. *Средства снижения вибрации и шума на судах*. СПб, 2000. 348 с. [Ionov A. V. *Means for reducing vibration and noise on ships*, St. Petersburg, 2000, 348 p. (in Rus.)]

[6] Кирпичников В. Ю., Сятковский А. И., Шлемов Ю. Ф. Высокоэффективные средства низкочастотного вибродемпфирования с упругим элементом из полимерной плёнки. *Судостроение*, 2020, 1, 44–47 [Kirpichnikov V. Yu., Syatkovsky A. I., Shlemov Yu. F. Highly effective means of low-frequency vibration damping with an elastic element made of a polymer film, *Shipbuilding*, 2020, 1, 44–47 (in Rus.)]

[7] Vitek J., Warlimont H. On a metastable miscibility gap in Mn – Cu alloys and the origin of high damping capacity. *Met. Sci. and Eng.*, 1976, 4, 7–13.

[8] Фавстов Ю. К., Шульга Ю. Н., Рахштадт А. Г. *Металловедение высокодемпфирующих сплавов*. М., Металлургия, 1980, 272 с. [Favstov Yu. K., Shul`ga Yu. N., Rakhshadt A. G. *Metal science of high-damping alloys*, Moscow, Metallurgy, 1980, 272 p. (in Rus.)]

[9] Удовенко В. А., Маркова Г. В., Ростовцев Р. Н. *Сплавы системы Mn – Cu. Структура и свойства*. Тула, Гриф и К, 2005, 152 с. [Udovenko V. A., Markova G. V., Rostovtzev R. N. *Alloys of the Mn – Cu system. Structure and properties*, Tula, Grif and K, 2005, 152 p. (in Rus.)]

[10] Наумов С. Б., Немировский В. В., Розенберг В. М. Стабильность демпфирования марганцево-медных сплавов. *Цветные металлы*, 1984, 10, 66–67 [Naumov S. B., Nemirovskiy V. V., Rozenberg V. M. Damping stability of manganese-copper alloys, *Nonferrous metals*, 1984, 10, 66–67 (in Rus.)]

[11] Naumov S., Ginne S. Features of the damping capacity of Mn – Cu alloys. *MATEC Web of Conferences*, 344, 01012 (2021), MPM 2021.

[12] Zhang Y., Li N., Yan J. Z., Xie J. W. Effect of the precipitated second phase during aging on the damping capacity degradation behavior of M2052 alloy. *Adv. Mater. Res.*, 2014, 873, 36–41.

[13] Liu W., Li N., Zhong Z., Yan J., Li D., Liu Y., Zhao X., Shi S. Novel cast-aged MnCuNiFeZnAl alloy with good damping capacity and high usage temperature toward engineering application. *Materials and Design.*, 2016, 106, 45–50.

[14] Наумов С. Б., Гиннэ С. В. О влиянии циркония на демпфирующую способность сплава Mn – 40 % Cu в области амплитудно-независимого демпфирования. *Сибирский аэрокосмический журнал*, 2022, 23(4), 756–762 [Naumov S. B., Ginne S. V. On the influence of zirconium on the damping ability of the Mn – 40 % Cu alloy in the region of amplitude-independent damping, *Siberian Aerospace Journal*, 2022, 23(4), 756–762 (in Rus.)]