

Исследование структуры и свойств марганцевомедного сплава, легированного цирконием

О. Б. Лисовская¹, И. Н. Теребихина²

¹кандидат технических наук, заведующая кафедрой материаловедения и основ конструирования,

Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: ob_lisovskaya@vyatsu.ru

²аспирант кафедры материаловедения и основ конструирования, Вятский государственный университет.

Россия, г. Киров. E-mail: Ira112012@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время происходит стремительное развитие техники, увеличение скоростей и мощности машин и оборудования. Это приводит к увеличению роста вредных шумов и вибраций, которые негативно сказываются на условиях труда. В этих условиях борьба с шумами и вибрациями является актуальной. Это может быть достигнуто посредством изоляции источника вибраций от основной конструкции, увеличением жесткости конструкции, применением различных устройств. Одним из высокоэффективных способов уменьшения вредных шумов и вибраций является использование демпфирующих материалов. К этой группе материалов относятся сплавы системы марганец-медь. В ряде случаев этот способ является единственным возможным способом уменьшения шумов. Поэтому разработка и исследование новых материалов, дающих новые возможности их применения, является актуальным. Цель статьи – изучение свойств сплава, легированного цирконием, никелем, железом, алюминием. В процессе исследования применялись метод рентгенофлуоресцентной спектроскопии, метод испытаний материала на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы. Исследована структура сплава до и после термообработки, определен химический состав, измерены твердость и микротвердость, определен коэффициент износостойкости. Результаты могут быть применены для определения направления дальнейших разработок в области конструкционных материалов.

Ключевые слова: сплавы медь-марганец, структура и свойства марганцевомедных сплавов, легирование цирконием, алюминием, никелем, железом, испытания на износостойкость.

Введение. В настоящее время сплавы системы марганец-медь являются востребованными при изготовлении конструкций, работающих в условиях циклического нагружения.

Сплавы системы марганец-медь занимают особое место среди других сплавов из-за уникального сочетания свойств. Марганцевомедные сплавы обладают весьма ценным, не встречающимся среди сплавов других систем комплексом физико-механических свойств, определяющих их значительную техническую важность для ряда отраслей промышленности. Они характеризуются высокой демпфирующей способностью при малых и при значительных амплитудах деформаций ($\psi = 7 - 10\%$ при $\gamma = 1 \cdot (10^{-6} - 10^{-7})$; $\psi = 30 - 40\%$ при $\gamma = 1 \cdot 10^{-3}$), а также достаточной прочностью ($\sigma_b = 350 - 500$ МПа) при хорошей пластичности ($\delta = 20 - 30\%$), большим электрическим сопротивлением, малым, а для некоторых сплавов даже отрицательным температурным коэффициентом электропроводности, низкой теплопроводностью и немагнитностью [6, с. 37].

Характеристики марганцевомедных сплавов зависят от структуры, химического состава сплава и технологии получения, а также от термической обработки.

Для слитков марганца характерна ярко выраженная дендритная структура, которая является более грубой в отливках, полученных литьем в землю и по выплавляемым моделям, и более измельченной в кокильных отливках. [5, с. 21].

Легирующие элементы существенно влияют как на положение линий равновесия на диаграмме состояния марганец-медь, так и на кинетику фазовых превращений при термической обработке сплавов этой системы [6, с. 88].

Цирконий является редким металлом и впервые был выделен только в 1824 году. Затем, только в двадцатом столетии, удалось получить чистый цирконий, свободный от примесей. Цирконий часто используют в качестве легирующего элемента в черной и цветной металлургии, так как он обладает высокой коррозионной стойкостью. Сплавы циркония с медью отличаются повышенной прочностью и электропроводностью.

Марганцевомедные сплавы, легированные железом при содержании его до 2,5% Fe, показывают дендритную структуру и не обнаруживают новых структурных превращений [3, с. 523].

В четверных сплавах системы Mn-Cu-Ni-Al влияние никеля, замедляющего процессы распада, можно уравновесить алюминием при соотношении никеля к алюминию 2:1. Образование фазы

Ni-Al могло бы дополнительно упрочнить сплав. Легирование элементами, не образующими с основными компонентами сплавов марганец-медь твердых растворов и химических соединений хотя и не влияет на характер и кинетику структурных превращений в матрице, но может заметным образом изменить сам характер структуры сплавов [6, с. 91].

Целью исследования является изучение свойств сплава, легированного цирконием, никелем, железом, алюминием. Сопоставление результатов с литературными данными, изучение закономерностей изменения структуры и свойств в зависимости от состава и термообработки, позволит сделать выводы о создании новых сплавов для использования в зависимости от условий работы конструкции.

Задачи исследования. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- определить химический состав сплава;
- изучить микроструктуру сплава;
- измерить твердость и микротвердость;
- определить относительную износостойкость.

Методы исследования. Объектом исследования являлись образцы марганцевомедного сплава, легированного цирконием никелем, железом, алюминием. Химический состав определялся с помощью рентгеновского флуоресцентного энергодисперсионного спектрометра EDX-900HS.

Изучение микроструктуры производили на микроскопе НЕОРНОТ-21. Образцы вырезали из заготовки диаметром 20 мм, высотой 12 мм. Далее изготавливались шлифы образцов с использованием механической шлифовки, а затем – полировки. Полировка стала конечной ступенью в процессе изготовления гладкой зеркальной поверхности. Получение такой поверхности является необходимым условием для проведения металлографического анализа.

Заключительной стадией изготовления шлифов являлось химическое травление. Оно производилось методом протирания образца реактивом до тех пор, пока не выявится структура. После окончания травления образец промывали под струей воды, затем в спирте и сушили с помощью фильтровальной бумаги [4, с. 152].

Для устранения дендритной неоднородности и улучшения свойств был применен высокотемпературный гомогенизационный отжиг.

Испытания на износостойкость были проведены в соответствии с ГОСТ 23.208-79 «Методика испытаний материала на износостойкость при трении о жестко закрепленные абразивные частицы» [2].

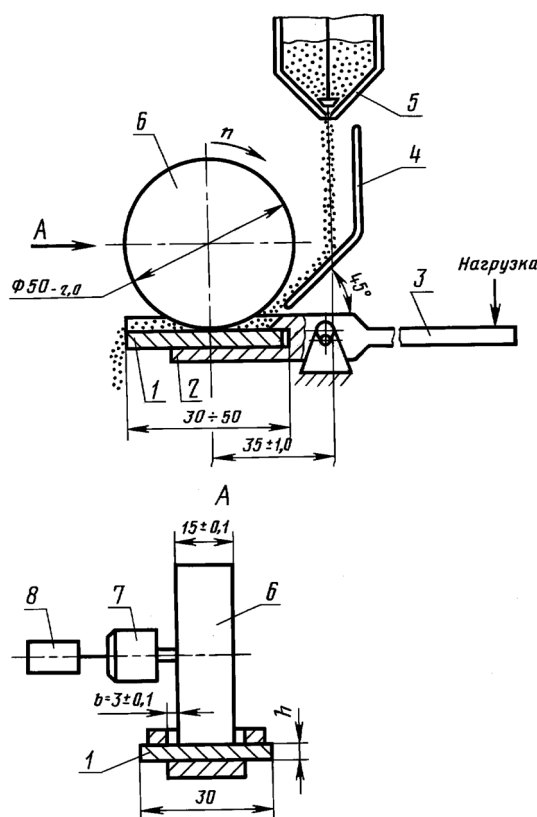


Рис. 1. Схема установки: 1 – образец; 2 – образецдержатель; 3 – рычаг; 4 – направляющий лоток; 5 – дозирующее устройство; 6 – резиновый ролик; 7 – привод

Испытания проводили на установке, приведенной на рис. 1, обеспечивающей вращение вокруг горизонтальной оси резинового ролика, который прижимается к исследуемому образцу. Между роликом и образцом непрерывно подается абразивный материал. Оценка износостойкости производится по результатам взвешивания образца до и после испытаний определения средне-арифметического значения потери массы исследуемого образца и эталона.

Результаты исследования. Результаты определения химического состава представлены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемого образца

№	Сплав	Содержание элементов								
		Cu	Mn	Fe	Si	S	Zr	Cr	Al	Ni
1	Г61Д27Н2Ж2ЮЦр	27.40	61.37	1.63	0.03	0.06	0.5	0.18	0.9	2.21

В процессе исследования были выявлены структуры, приведенные на рис. 2–3.



Рис. 2. Микроструктура сплава Г61Д27Н2Ж2ЮЦр после полировки и травления, х250

В соответствии с диаграммой равновесия структура марганцевомедного сплава, содержащего 75% марганца и 25% меди, при комнатной температуре состоит из γ -твердого раствора с решеткой ГЦК и α -марганца. Однако вследствие очень медленного протекания диффузионных фазовых превращений в марганцевомедных сплавах структура реальных литых сплавов значительно отличается от равновесной.

Структура сплава Г61Д27Н2Ж2ЮЦр является дендритной с обогащенными марганцем (85–90%) темными областями и обедненными марганцем (55–60%) светлыми участками. Новых структурных изменений не выявлено. Данные выводы аналогичны литературным данным.

Результаты металлографического анализа после отжига при 840 °С приведены на рис. 3.

Анализ приведенных микроструктур свидетельствует о том, что диффузионные процессы при гомогенизации сплава идут очень медленно. Дендриты стали иметь менее четкие границы, но полностью не исчезли.

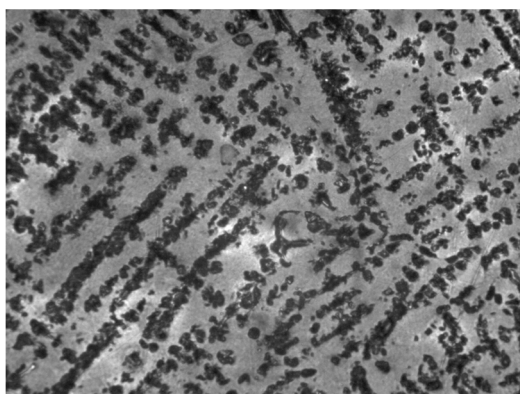


Рис. 3. Микроструктура сплава Г61Д27Н2Ж2ЮЦр после термообработки, полировки и травления, х250

Степень дендритной неоднородности сплава может быть определена также по различию в значениях микротвердости дендрита и междендритных участков. Можно предположить, что чем меньше разница в значении микротвердости, тем выше химическая однородность сплава. Таким образом, метод измерения микротвердости может быть использован для быстрого контроля результатов гомогенизационного отжига.

Измерения микротвердости светлых и темных участков структуры показали более высокую твердость составляющей, обогащенной марганцем (темные участки на шлифе). Измерения микротвердости этих участков структуры литого сплава (литье в металлическую изложницу, затемковка при температуре 700-800 °С и отжиг по режиму, указанному выше) приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Результаты измерения твердости

	HRB	HV
Г61Д27Н2Ж2ЮЦр	95	226

Таблица 3

Результаты измерения микротвердости образца Г61Д27Н2Ж2ЮЦр

	HV (кг/мм ²) междендритных зон (светлых участков)	HV(кг/мм ²) дендритов (темных участков)
Г61Д27Н2Ж2ЮЦр	107-110	141-152

При испытании на износостойкость изменение массы образца до и после испытаний в течение 10 минут приведены в табл. 4.

Таблица 4

Относительная износостойкость (К_и)

Номер образца	Марка	Потеря массы образцов g, г	Относительная износостойкость (К _и)
Эталон	сталь 45(91 HRB)	0,015	-
Образец	Г61Д23Ж1,6Ю3,3Н2,2Ц3	0,008	1,95

Расчет относительной износостойкости производился по формуле:

$$\bar{g}_э = \frac{\sum_{i=1}^3 g_{эi}}{3};$$

$$\bar{g}_и = \frac{\sum_{i=1}^m g_{иi}}{m},$$

где $g_{эi}$, $g_{иi}$ – значение потерь массы при испытаниях эталонных образцов и образцов исследуемого материала, г;

m – количество образцов исследуемого материала.

Относительную износостойкость вычисляли по формуле:

$$K_и = \frac{\bar{g}_э \rho_и N_и}{\bar{g}_и \rho_э N_э},$$

где $\rho_и$ и $\rho_э$ – плотность исследуемого и эталонного образца;

В результате относительный коэффициент износостойкости:

$$K_{из} = (0,015 \cdot 7,7) / (0,008 \cdot 7,4) = 1,95$$

Выводы

1. Установлены общие закономерности в структурообразовании марганцевомедного сплава, легированного цирконием, после различных способов литья и режимов термической обработки. Структура сплава Г61Д27Н2Ж2ЮЦр является дендритной, новых фаз не выявлено; влияние циркония носит модифицирующий характер.

2. Полученные результаты испытаний на износостойкость сплава, легированного цирконием, дают основания для дальнейших исследований в области разработки новых сплавов на основе Mn-Cu.

Список литературы

1. Блантер М. С. Метод внутреннего трения в металловедческих исследованиях. М. : Металлургия, 1991. 248 с.
2. ГОСТ 23.208-79. Методика испытаний материала на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы. М. : Стандартинформ, 2005.
3. Лисовская О. Б., Теребихина И. Н. Структура и свойства сплавов высокого демпфирования системы марганец-медь // Общество, наука, инновации (НПК-2018) : всерос. ежегод. науч-практ. конф. ; сб. статей 2-28 апреля 2018 г. / ВятГУ. Киров, 2018. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). С. 517–524 (РИНЦ).
4. Панченко Е. В. Лаборатория металлографии. М. : Металлургия, 1965. 251 с.
5. Рахштадт А. Г., Фавстов Ю. К., Кочеткова Л. П. Структурные превращения в марганцевомедных сплавах с высокой демпфирующей способностью // МиТОМ. 1973. № 2. С. 19–23.
6. Фавстов Ю. К. Металловедение высокодемпфирующих сплавов / Ю. Н. Шульга, А. Г. Рахштадт. М. : Металлургия, 1980. 272 с.

The study of the structure and properties of manganese-copper alloy doped with zirconium

O. B. Lisovskaya¹, I. N. Terebihina²

¹PhD of technical sciences, head of the Department of material science and fundamentals of design, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: ob_lisovskaya@vyatsu.ru

²postgraduate student of the Department of material science and fundamentals of design, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: Ira112012@yandex.ru

Abstract. Currently, there is a rapid development of technology, increase of the speed and power of machines and equipment. This leads to an increase in the growth of harmful noises and vibrations that have a negative impact on working conditions. In these conditions, the fight against noise and vibration is relevant. This can be achieved by isolating the vibration source from the main structure, increasing the rigidity of the structure, using various devices. One of the highly effective ways to reduce harmful noises and vibrations is the use of damping materials. This group of materials includes alloys of manganese-copper. In some cases, this method is the only possible way to reduce noise. Therefore, the development and research of new materials, giving new opportunities for their application, is relevant. The purpose of the article is to study the properties of the alloy doped with zirconium, nickel, iron, aluminum. In the course of the study, the method of x-ray fluorescence spectroscopy, the method of testing the material for wear resistance in friction against non-rigidly fixed abrasive particles were used. The structure of the alloy before and after heat treatment was studied, the chemical composition was determined, hardness and microhardness were measured, the wear resistance coefficient was determined. The results can be used to determine the direction of further development in the field of structural materials.

Keywords: manganese-copper alloys, structure and properties of manganese-copper alloys, zirconium alloying, aluminum, nickel, iron, wear resistance tests.

References

1. Blanter M. S. *Metod vnutrennego treniya v metallovedcheskih issledovaniyah* [Method of internal friction in metal studies]. M. Metallurgy. 1991. 248 p.
2. GOST 23.208-79. *Metodika ispytaniy materiala na iznosostojkost' pri trenii o nezhestko zakreplennye abrazi-vnye chasticy* – GOST 23.208-79. The method of testing the material for wear resistance when friction on loosely fixed abrasive particles. M. STANDARTINFORM. 2005.
3. Lisovskaya O. B., Terebihina I. N. *Struktura i svoystva splavov vysokogo dempfirovaniya sistemy marganec-med'* [Structure and properties of high damping alloys of the system manganese-copper] // *Obshchestvo, nauka, innovacii (NPK-2018): vseros. ezhegod. nauch-prakt. konf.; sb. statej 2-28 aprelya 2018 g.* – Society, science and innovation (NPK (Scientific and practical conference)-2018): all-Russia yearly scientific practic. conf.; collection of articles 2-28 April 2018 / VyatSU. Kirov. 2018. 1 electron. opt. disc (CD-ROM). Pp. 517–524 (RSCI).
4. Panchenko E. V. *Laboratoriya metallografii* [Metallography laboratory]. M. Metallurgy. 1965. 251 p.
5. Ruhstadt A. G., Favstov Yu. K., Kochetkova L. P. *Strukturnye prevrashcheniya v margancevomednyh splavah s vysokoj dempfiruyushchej sposobnost'yu* [Structural transformations in manganese-copper alloys with high damping capacity] // *MiTOM – Mitom*. 1973. No. 2. Pp. 19–23.
6. Favstov Yu. K. *Metallovedenie vysokodemfiryushchih splavov* [Metallurgy of high-damping alloys] / Y. N. Shulga, A. G. Ruhstadt. M. Metallurgy. 1980. 272 p.