

Анастасия Михайловна Гнусина^{1}, Алексей Владимирович Святкин¹*

¹ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти, Россия

**myipru@gmail.com*

ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И ТВЕРДОСТИ КРЕМНИСТО-МАРГАНЦЕВОЙ ЛАТУНИ ПРИ МОДИФИЦИРОВАНИИ ФОСФОРОМ

Рассматривается влияние фосфора на микроструктуру кремнисто-марганцевистой ($\alpha+\beta$)-латуни, упрочненную силицидами. Исследования проводились на базе экспериментальных образцов с концентрацией фосфора от 0 до 0,20%. Анализ микроструктуры показал, что увеличение концентрации фосфора приводит к стабилизации α -фазы, увеличению доли интерметаллидных включений и линейному снижению твердости. Выявлена тенденция к укрупнению интерметаллидных включений и формированию столбчатых структур с повышением содержания фосфора.

Ключевые слова: двухфазные латуни, интерметаллидные включения, фосфиды, влияние фосфора

Anastasiya M. Gnusina, Alexey V. Svyatkin

CHANGE IN MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF SILICON-MANGANESE BRASS WHEN MODIFIED WITH PHOSPHORUS

The effect of phosphorus on the microstructure of silicon-manganese ($\alpha+\beta$)-brass strengthened with silicides is considered. The studies were carried out on the basis of experimental samples with phosphorus concentration from 0 to 0.20%. The microstructure analysis showed that the increase in phosphorus concentration leads to stabilization of α -phase, increase in the proportion of intermetallic inclusions and linear decrease in hardness. The tendency to enlarge intermetallic inclusions and to form columnar structures with increasing phosphorus content was revealed.

Keywords: two-phase brasses, intermetallic inclusions, phosphides, phosphorus influence

Кремнисто-марганцевистые латуни применяются для деталей, работающих в режиме трения-износа, благодаря своим механическим и трибологическим свойствам, превосходящим оловянистые и алюминиевые бронзы. Их структура обычно представляет собой двухфазную матрицу ($\alpha+\beta$), где α -фаза образует игольчатые структуры, а также включает интерметаллидный упрочнитель Mn_5Si_3 . Наличие дополнительных легирующих элементов способствует образованию сложных интерметаллидов $(Fe, Mn, Ni)_5Si_3$ с переменным химическим составом.

Проблемами многокомпонентных латуней являются склонность к образованию трещин и технологическая нестабильность. Износостойкость, в основном, определяется количеством и размерами силицидов. Исследование

сплава ЛМцАЖКС [1] показало, что трубы с крупными интерметаллидами подвержены растрескиванию при правке, однако форма включений в виде игл или пластин длиной 2-20 мкм улучшает износостойкость деталей из данной латуни. Авторы работы [1] установили, что причина растрескивания в отдельных случаях связана с наличием неметаллических включений (оксидов, сульфидов), а также с избыточным содержанием силицидов и примесей на границах β' - зерен. На наш взгляд, подобные признаки свидетельствуют о загрязнении шихты корольками и использованием низкокачественных ломов. Работой [2] установлена связь склонности к растрескиванию с горячей деформацией сплава ЛМцАЖН в интервале интенсивного выделения метастабильных включений.

Повышение температуры до 750°C способствует образованию включений сложной формы с развитой поверхностью. Более низкая температура снижает растворимость силицидов — это увеличивает их количество за счет диффузии марганца и алюминия. В результате в интервале 700...800 °C происходит частичное растворение силицидов, замещение кремния алюминием и образование обедненных легирующими элементами зон в прилегающих к силицидам областях. В дальнейшем, это приводит к выделению метастабильной α -фазы на данных участках.[3] При производстве промышленных полуфабрикатов температурный интервал 700...800° C зачастую является основной технологической температурой процессов горячей деформации. При МРСА было выявлено, что крупные силициды стержневой формы в сплаве обогащены фосфором и они более термостабильны. Вероятно, температура образования фосфидов марганца и железа выше, чем силицидов, поэтому использование фосфора может способствовать более раннему образованию зародышей упрочняющих фаз, что в конечном счете способствует повышению износостойкости и технологичности.

С целью дальнейшего исследования влияния добавок фосфора на микроструктуру и свойства латуней создан набор экспериментальных образцов латуни с фосфором в разной концентрации.

Переплавы проводили в лабораторной печи с добавлением фосфористой меди МФ9. Отливались образцы диаметром 50 мм и высотой 30 мм в холодный бронзовый кокиль, охлаждение после выдержки при 950 °C проводилось на воздухе.

Осуществлялось травление поверхности с целью выявления металлической матрицы, в качестве травителя применён водный раствор хлористого шестиводного железа в соляной кислоте (16,7г $\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$ /25мл HCl / 100 мл H_2O). Исследования проводились методом структурного анализа образцов на оптическом микроскопе Olympus-GX41 (Япония), оснащённом анализатором микроструктуры SIAMS 700 (Россия). Химический состав всех компонентов сплава за исключением фосфора определялся на оптическом эмиссионном спектрометре OBLF QSG 750-II (Германия). Содержание фосфора выявлено по ГОСТ 13938.3. Твёрдость образцов определена на

твёрдомере Zwick/Roell ZHU 250 (Швейцария) по Виккерсу с нагрузкой в 30 кг, как среднее арифметическое пяти параллельных измерений.

Влияние добавок фосфора на форму и размеры включений представлено на рис. 1 а-г. По форме различимы сферические, столбчатые и, в меньшем количестве, розетчатые включения. Химический состав образцов приведён в таблице 1.

Таблица 1

Результаты химического анализа образцов

Образец	Определяемые элементы, массовая доля, %									
	Cu	Zn	Mn	Al	Fe	Si	Pb	Ni	Sn	P*
№0	65,64	24,97	3,21	3,05	1,29	0,88	0,56	0,29	0,10	~0,00
№1	65,95	24,60	3,20	3,08	1,35	0,87	0,57	0,25	0,12	~0,05
№2	65,44	24,41	3,41	3,32	1,23	0,90	0,63	0,46	0,18	~0,15
№3	65,15	24,51	3,44	3,30	1,35	0,93	0,66	0,46	0,18	~0,20

* - расчётное

При добавлении 0,05% фосфора выявляются в основном включения сферической и столбчатой формы. Стоит отметить, что столбчатые включения здесь меньше по размеру, но их больше, чем в предыдущем в образце без фосфора. Заметно увеличение количества круглых интерметаллидов. Следовательно, из этого можно заключить, что с повышением концентрации фосфора увеличивается число центров кристаллизации в сплаве. Последующее увеличение содержания фосфора до 0,15% приводит к увеличению количества силицидов. При концентрации фосфора 0,20% выявлено снижение дисперсности интерметаллидов.

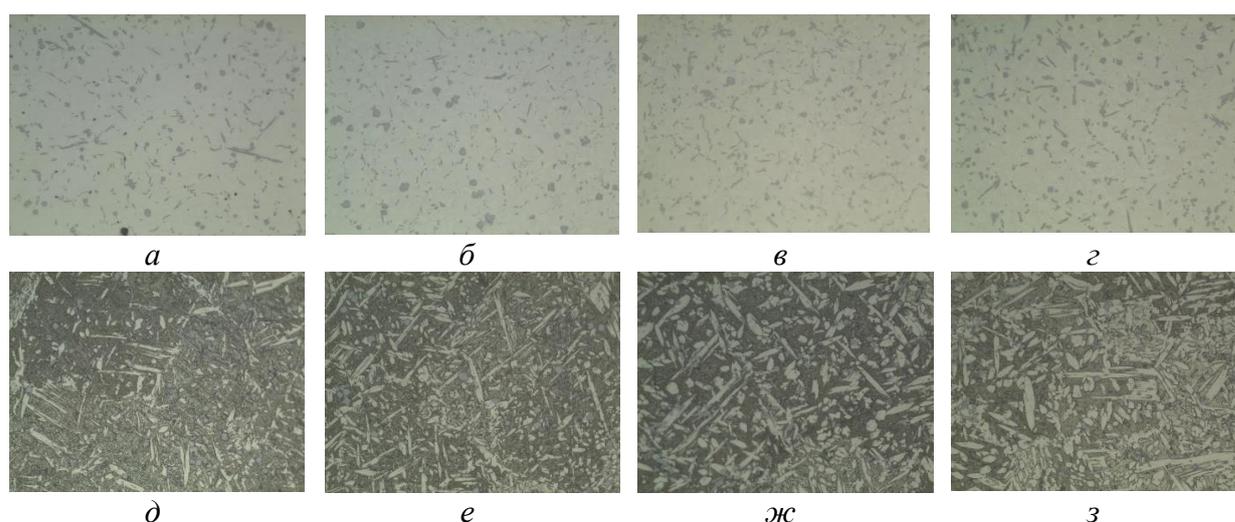


Рис. 1. Микроструктура экспериментальных образцов х500: слева- направо образец без фосфора ; образец с концентрацией 0,05%Р ; образец 0,15%Р и образец 0,20%Р:

а, б, в, г – в нетравлённом виде;

д,е,ж,з – травленная (16.7г FeCl₃×6H₂O/25мл HCl/ 100 мл H₂O)

Влияние добавок фосфора на соотношение фаз металлической матрицы представлено на рис. 1 д-з. У образца №0 соотношение фаз α/β составляет примерно 10/90%. Соотношение фаз матричного раствора образца с 0,05% фосфора α/β определяется как 25/75%. При увеличении содержания фосфора до 0,15% наблюдается заметный рост доли α -фазы: соотношение α/β составляет 30/70%. С концентрацией фосфора 0,20% уровень α -фазы в матричном растворе увеличивается, соотношение α/β составляет примерно 40/60%.

График изменения твёрдости приведён на рис.2.

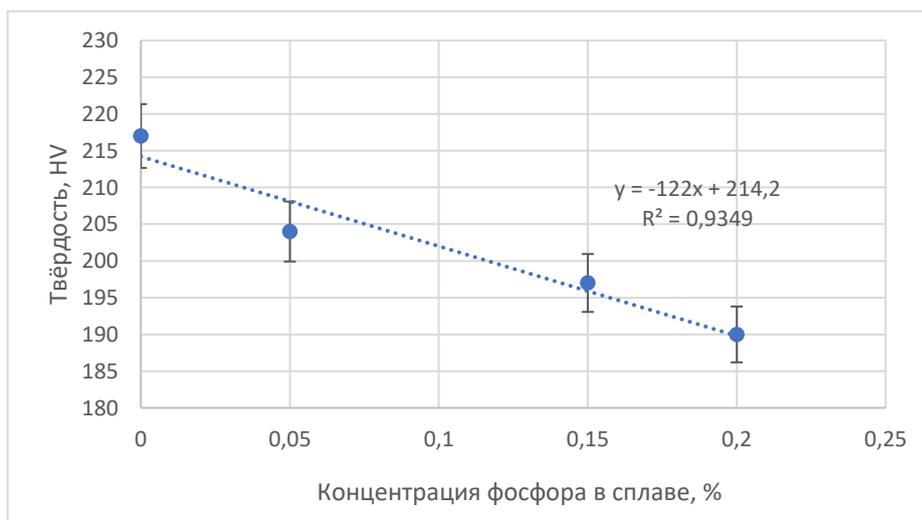


Рис. 2. График значений твёрдости экспериментальных образцов

Из рисунка 2 видно, что с увеличением содержания фосфора в сплаве твёрдость снижается, что отображается в виде ниспадающей линии на графике. Это связано с тем, что фосфор способствует увеличению доли пластичной α -фазы. Дальнейшее увеличение содержания фосфора стабилизирует α -фазу, что, в свою очередь, приводит к снижению твёрдости.

Выявлена тенденция к укрупнению интерметаллидных включений с повышением концентрации фосфора, склонность к формированию включений столбчатой формы. С повышением содержания фосфора твёрдость латуни снижается. Введение фосфора в латунь данного класса способствует стабилизации α -фазы и формированию более крупных интерметаллидов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Копыл М.Д., Тропотов А.В., Котляров И.В. Латунные сплавы для колец синхронизаторов совершенствуются // Автомобильная промышленность. 1999. № 10. С. 26–29.,
2. Влияние метастабильных соединений на склонность к растрескиванию многокомпонентных латуней Святкин А.В., Выбойщик М.А., Гнусина А.М./Деформация и разрушение материалов. 2024. № 4. С. 32-40
3. On the effect of heating of two-phase alloyed brasses on morphological peculiarities of intermetallic inclusions Svyatkin A.V., Gnusina A.M.,

Gryzunova N.N. //Physics of Metals and Metallography. 2024. T. 125. № 6. С. 594-602

REFERENCES

1. Kopyl M.D., Tropotov A.V., Kotlyarov I.V. Brass alloys for synchronizer rings are improved // Automotive industry. 1999. № 10 P. 26-29.,
2. Influence of metastable compounds on cracking propensity of multicomponent brasses Svyatkin A.V., Vyboyshchik M.A., Gnusina A.M./Deformation and fracture of materials. 2024. № 4. P. 32-40
3. On the effect of heating of two-phase alloyed brasses on morphological peculiarities of intermetallic inclusions Svyatkin A.V., Gnusina A.M., Gryzunova N.N.. //Physics of Metals and Metallography. 2024. T. 125. № 6. P. 594-602