

АНТИФРИКЦИОННЫЙ СИЛУМИН АК15М3 С ГЛОБУЛЯРНЫМ КРЕМНИЕМ. ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ

Е.И. МАРУКОВИЧ, д-р техн. наук, **В.Ю. СТЕЦЕНКО**, канд. техн. наук
ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси»

Разработан антифрикционный силумин с глобулярным кремнием, обладающий высокими механическими и триботехническими свойствами и технология его производства. Детали из антифрикционного силумина с глобулярным кремнием заменяют аналогичные детали из антифрикционных бронз. Создано опытно-промышленное производство сплошных и полых заготовок. Заготовки из антифрикционного силумина с глобулярным кремнием поставляются более чем на 100 предприятий Беларуси, России, Кореи, Украины.

Ключевые слова: антифрикционный силумин, глобулярный кремний, антифрикционные бронзы, механические свойства, триботехнические свойства.

ANTIFRICTIONAL SILUMIN AK15M3 WITH GLOBULAR SILICON. OBTAINING, PROPERTIES, APPLICATION

E.I. MARUKOVICH, Dr. of Engineering Sciences,
V. YU. STETSENKO, Ph.D in Technical Science
Institute of Technology of Metals of NAN of Belarus

Antifrictional silumin with globular silicon, which has high mechanical and tribotechnical properties, and its production technology have been developed. Parts made of antifriction silumin with globular silicon replace similar parts made of antifriction bronzes. Pilot production of solid and hollow workpieces was created. Billets made of antifriction silumin with globular silicon are supplied to more than 100 enterprises in Belarus, Russia, Korea, and Ukraine.

Keywords: antifriction silumin, globular silicon, antifriction bronzes, mechanical properties, tribotechnical properties.

Наиболее распространенными антифрикционными материалами в мире являются бронзы. Они обладают высокой фрикционной износостойкостью и малым коэффициентом трения, поэтому широко применяются в узлах трения машин и механизмов.

Антифрикционные бронзы являются относительно тяжелыми и дорогостоящими материалами, а для Республики Беларусь – импортруемыми. Поэтому замена антифрикционных бронз на более дешевые, легкие и отечественные антифрикционные материалы является актуальной проблемой.

В ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси» разработан антифрикционный силумин (АС) АК15М3 с глобулярным кремнием (ГК). Кроме повышенных механических свойств, заготовки из этого материала обладают высокими триботехническими свойствами, благодаря принципу Шарпи (инверсии микроструктуры): большой теплопроводностью сплава, высокой дисперсностью, глобулярностью и прочностью кристаллов кремния. Установлено, что теплопроводность эвтектического силумина с глобулярным кремнием соответственно в 2 и 3 раза выше, чем у бронз БРОЦ5-5-5 и БрАЖ9-4, а глобулярные кристаллы кремния не выкрашиваются при очень большом давлении. Нож из эвтектического силумина с глобулярным кремнием обладает высокими режущими свойствами.

Микроструктура заготовок из АС АК15М3 с ГК представлена на рисунке 1.

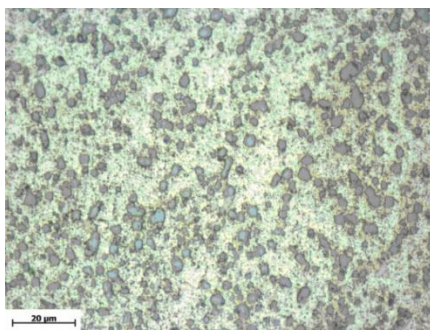


Рисунок 1 – Микроструктура заготовок из антифрикционного силумина АК15М3 с глобулярным кремнием после термообработки по режиму T5

Из рисунка 1 следует, что АС АК15М3 с ГК имеет высокодисперсные глобулярные кристаллы кремния размером 3–4 мкм, то есть модифицированную микроструктуру. Она получена за счет по-

вышенной скорости затвердевания, которая сдвигает эвтектическую точку с 12–13 % до 14–15 % кремния.

В настоящее время на опытно-промышленном участке ГНУ «Институт технологии металлов» освоено производство различных видов заготовок из силумина АС АК15М3 с ГК. На установке циклического литья (рисунок 2) отливаются сплошные заготовки диаметром от 40 мм до 120 мм и высотой 150 мм. Отливки формируются в глухдонном кристаллизаторе с затопленно-струйной системой охлаждения (струйном кристаллизаторе). Струйный кристаллизатор по сравнению с обычным позволяет повысить линейную скорость затвердевания силумина в 2,5–3 раза, что обеспечивает получение отливок с высокодисперсной инвертированной микроструктурой без применения модифицирующих флюсов и лигатур [1, 2].



Рисунок 2 – Общий вид установки циклического литья

Непрерывнолитые заготовки диаметром от 40 мм до 85 мм из силумина АС АК15М3 с ГК производятся на установке непрерывного горизонтального литья с применением струйного кристаллизатора и системы затопленно-струйного вторичного охлаждения (рисунок 3) [1, 3].

Производство полых заготовок с наружным диаметром от 90 до 200 мм и высотой до 150 мм из АС АК15М3 с ГК осуществляется на установке вертикального центробежного литья (рисунок 4). При этом в качестве шихты используются отходы от литья в кристалли-

затопы с затопленно-струйной системой охлаждения. Эти шихтовые заготовки имеют высокодисперсную глобулярную микроструктуру, которая наследуется при их переплаве.



Рисунок 3 – Общий вид установки непрерывного горизонтального литья



Рисунок 4 – Общий вид установки вертикального центробежного литья

Разработанный антифрикционный силумин АК15М3 с ГК имеет следующие механические свойства: временное сопротивление разрыву – 350–450 МПа; относительное удлинение – 3–5 %; твердость – 125–135 НВ.

Полученные заготовки из указанного антифрикционного силумина прошли цикл триботехнических испытаний в Санкт-Петербургском институте машиностроения (на кафедре «Триботехника»). В качестве базовой (сравниваемой) использовали заготовки из бронзы БрОЦС5-5-5, применяемые в машиностроительной и литейной промышленности. В условиях без смазки испытания проводились на торцевой машине трения при нормальной нагрузке 12,8 Н и вращении образца из стали 45 со скоростью 620 об/мин. По результатам испытаний установлено, что износостойкость силумина АС АК15М3 с ГК превосходит аналогичный показатель бронзы БрОЦС5-5-5 в 7 раз [4]. В условиях со смазкой (И20А) испытания проводились на машине трения СМЦ-2 при нормальной нагрузке 200 Н и вращении образца из стали 45 со скоростью 300 об/мин. Было установлено, что АС АК15М3 с ГК по износостойкости превосходит бронзу БрОЦС5-5-5 в 23 раза [4]. Коэффициент трения по стали у силумина АК15М3 с ГК по сравнению с бронзой БрОЦС5-5-5 в условиях со смазкой и без нее был соответственно в 1,35 и 1,65 раз ниже [4].

Разработанный силумин АК15М3 с ГК испытывался также в ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси». В этом случае сравнивали свойства силумина и антифрикционных бронз БрОЦС5-5-5, БрОФ10-1, БрАЖ9-4 при повышенных удельных нагрузках. Триботехнические испытания проводились на машине трения МТВП в условиях смазки (И20А). Использовалась схема возвратно-поступательного перемещения призматического образца (10×5×5 мм) по стали 45 при скорости 0,1–0,5 м/с. Удельная нагрузка составляла 10–100 МПа. В результате испытаний установлено, что фрикционная износостойкость силумина АК15М3 с ГК в условиях смазки при высоких удельных нагрузках превосходит износостойкость бронзы БрОЦС5-5-5, БрОФ10-1, БрАЖ9-4 [5].

Детали из разработанного антифрикционного силумина АК15М3 с ГК прошли опытно-промышленные испытания на 20-ти промышленных предприятиях Беларуси и России. Опытные детали устанавливались в узлах трения машин и механизмов вместо аналогичных деталей из серийных антифрикционных бронз типа БрАЖ, БрОЦС, БрАЖМц, БрАЖН, БрОФ, БрОС. При этом установлено, что детали из силумина АК15М3 с ГК по фрикционной износостойкости и ре-

сурсу работы не уступают либо превосходят аналогичные детали из антифрикционных бронз и могут с успехом их заменять.

Область применения АС АК15М3 с ГК в промышленности достаточно широкая: подшипники скольжения, шестерни червячных колес редукторов, втулки балансиров и шарнирных соединений, вкладыши люнета токарных станков и прессов, втулки сателлитов дифференциалов и сальниковых бус, поршни гидроцилиндров, направляющие втулки и другие детали узлов трения технологического оборудования и др.

В Республике Беларусь заготовки из антифрикционного силумина АК15М3 с ГК применяются на таких предприятиях, как: ОАО «Белшина», ОАО «Гомельский завод станочных узлов», ОАО «Оршанский станкостроительный завод «Красный борец», ОАО «Кузлитмаш» холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ», заводе «Могилевтрансмаш» ОАО «МАЗ», ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ», ОАО «Амкадор-Дзержинск», ОАО «Бобруйскагромаш», ОАО «Светлогорск-Химволокно», ОАО «Минский завод колесных тягачей» и многих других предприятиях. Кроме того, заготовки из разработанного силумина поставляются более чем на 100 предприятий Беларуси, России, Кореи и Украины.

Таким образом, антифрикционный силумин АК15М3 с глобулярным кремнием решает проблему замены антифрикционных бронз на более дешевый, легкий отечественный антифрикционный материал.

Список литературы

1. Марукович, Е.И. Модифицирование сплавов / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко. Минск: Беларус. навука, 2009. – 192 с.

2. Марукович, Е.И. Литье силумина. Новые подходы / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко // Литейщик России. – 2016. – № 8. – С. 20–24.

3. Марукович, Е.И. Непрерывное горизонтальное литье и свойства антифрикционного силумина / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко // Металлургия машиностроения. – 2016. – № 5. – С. 32–34.

4. **Марукович, Е.И.** Силумин с глобулярным кремнием – перспективный материал для промышленности / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко // Литейное производство. – 2017. – № 9. – С. 6–8.

5. **Марукович, Е.И.** Исследование триботехнических свойств антифрикционного силумина АК15М3 / Е.И. Марукович, В.А. Кукареко, А.Н. Григорчик, В.Ю. Стеценко // Трение и износ. – 2020. – Т. 41. – № 2. – С. 131–138.

6. **Марукович, Е.И.** Производство силуминов с высокодисперсной инвертированной микроструктурой / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко // Литье и металлургия. – 2020. – № 3. – С. 23–30.

References

1. **Marukovich, E.I.** *Modificirovanie splavov* [Modification of alloys] / E.I. Marukovich, V.Yu. Stetsenko. Minsk: Belaruskaya navuka Publ., 2009. – 192 p.

2. **Marukovich, E.I.** *Lit'e silumina. Novye podhody* [Casting silumin. New approaches] / E.I. Marukovich, V.Yu. Stetsenko // *Litejshchik Rossii = Foundry of Russia*. – 2016. – No. 8. – P. 20–24.

3. **Marukovich, E.I.** *Nepreryvnoe gorizontal'noe lit'e i svojstva anti-frikcionnogo silumina* [Continuous horizontal casting and the properties of antifriction silumin] / E.I. Marukovich, V.Yu. Stetsenko // *Metallurgiya mashinostroeniya = Metallurgy of mechanical engineering*. – 2016. – No. 5. – P. 32–34.

4. **Marukovich, E.I.** *Silumin s globulyarnym kremniem – perspektivnyj material dlya promyshlennosti* [Silumin with globular silicon is a promising material for industry] / E.I. Marukovich, V.Yu. Stetsenko // *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*. 2017. – No. 9. – P. 6–8.

5. **Marukovich, E.I.** *Issledovanie tribotekhnicheskikh svojstv anti-frikcionnogo silumina AK15M3* [Investigation of the tribotechnical properties of antifrictional silumin AK15M3] / E.I. Marukovich, V.A. Kulkareko, A.N. Grigorichik, V.Yu. Stetsenko // *Trenie i iznos = Friction and wear*. – 2020. – Vol. 41, No. 2. – P. 131–138.

6. **Marukovich, E.I.** *Proizvodstvo siluminov s vysokodispersnoj invertirovannoj mikrostrukturoj* [Production of silumins with a highly dispersed inverted microstructure] / E.I. Marukovich, V.Yu. Stetsenko // *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*. – 2020. – No. 3. – P. 23–30.