

Влияние легирования на параметры графитных включений и некоторые свойства серых чугунов

¹*ЩЕРБАКОВА Елена Петровна, PhD, и.о. доцента, sherbakova_1984@mail.ru,

¹КВОН Светлана Сергеевна, к.т.н., профессор, svetlana.1311@mail.ru,

²КОВАЛЁВ Павел Валерьевич, к.т.н., доцент, kovalev_pv@spbstu.ru,

¹ДОСТАЕВА Ардак Мухамедиевна, PhD, и.о. доцента, ardak_erkekyz@mail.ru,

¹АУБАКИРОВ Дастан Рахметоллаевич, докторант, dastan_kstu@mail.ru,

¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Казахстан, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Цель – исследование влияния легирования на параметры графитных включений и некоторые свойства серых чугунов. В работе проведен краткий информационный анализ влияния различных факторов на параметры графитной фазы и свойства серых чугунов. Приведены экспериментальные данные по влиянию микролегирования титаном сплава АЧС-2 на коэффициент скольжения и твердость. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили благоприятное воздействие микролегирования титаном на эксплуатационные свойства антифрикционного серого чугуна АЧС-2. Введение титана в состав сплава АЧС-2 в количестве 0,2% приводит к измельчению графитной фазы, что благоприятно сказывается на коэффициенте скольжения и твердости сплава.

Ключевые слова: графитные включения, длина, серый чугун, коэффициент скольжения, твердость, сплав АЧС-2, грунтовые насосы, легирование, качество, износостойкость.

Введение. Грунтовые насосы широко применяются в горно-металлургической отрасли для перекачки шламов, в агломерационном и коксохимическом производствах и пр. Значительная часть деталей грунтовых насосов изготавливается из износостойких или антифрикционных чугунов. Повышению износостойкости материалов для производства деталей грунтовых насосов посвящено значительное число исследований. Между тем, в конструкции насосов присутствует достаточно широкий ряд деталей, от которых требуются не только хорошее сопротивление износу и твердость, но также и антифрикционные свойства, т.к. такие детали, как втулки, вкладыши и др. работают в сопряженной паре и подвергаются трению.

Следовательно, для обеспечения эффективной работы грунтовых насосов необходимо уделять особое внимание на производство и качество «малых» деталей, т.к. срок их эксплуатации определяет срок службы насосов в целом. В качестве антифрикционных материалов для производства вкладышей, втулок и других сопрягающихся деталей грунтовых насосов используются чугуны, в основном серые, марок АЧС 1-6. Чугуны этой группы имеют перлитную или перлитно-ферритную

основу без свободного цементита и обязательно содержат в структуре свободный пластинчатый графит, т.е. относятся к классу серых чугунов.

Авторы [1] рассматривают серые чугуны, как двухфазный композиционный материал, содержащий случайно ориентированные частицы графита. Согласно модели Фойгта и Ройсса влияние графита на свойства чугуна имеет определенный предел, но при этом значительное количественное влияние. Авторами данной работы доказано, что форма, количество и распределение графита оказывает более значительное влияние на свойства, чем предполагалось прежде.

Работа [2] посвящена исследованию тонкой структуры графитных включений в различных марках чугунов. Методами электронной микроскопии установлены механизмы роста и формирования графитных включений. С помощью электронной микроскопии установлено, что структура графитных включений состоит из блоков и реализуется по двумерному механизму роста. Существует четкая взаимосвязь между формой графитных включений и дефектами кристаллического строения графита, такими как двойники. В работе также показано, что на формирование графита оказывают влияние такие модифицирующие эле-

менты, как Se, La и др.

Обзорная работа [3] посвящена анализу формирования графитных включений в ферритных чугунах и их влиянию на основные свойства: предел прочности, изгиб, твердость, вязкость и пр. На рисунке 1 схематично показано изменение морфологии графитных включений в зависимости от скорости охлаждения, причем индикатором завершенности процесса кристаллизации является наличие аустенитной матрицы.

В работе [4] для оценки комплексного воздействия технически значимых микроэлементов на образование графита предлагается использовать критерий S , который можно рассчитать по следующей формуле:

$$S = 4,4 wTi + 2,0 wAs + 2,3 wSn + 5,0 wSb + 290,0 wPb + 370,0 wBi + 1,6 wAl, \quad (1)$$

где w – содержание элемента, %.

Для того, чтобы избежать образования крупного графита значение параметра S должно быть меньше 1; в случае превышения S выше указанного значения следует вводить дополнительные модификаторы – измельчители. Однако, надо подчеркнуть, что этот критерий не учитывает время кристаллизации, поэтому говорить о корректности критерия для прогнозирования характеристик графитных включений на основании химического состава автор считает условным.

В работах [5, 6] рассмотрено влияние химического состава (10 вариантов) на свойства и микроструктуру опытных образцов. Полученные результаты исследования микроструктуры показали корреляцию между содержанием кремния и содержанием феррита и графита на единицу площади. Показано, что введение некоторых элементов (Cu, Sn, Ti, V, Mo и др.) приводит к измельче-

нию графитной фазы. Добавление кремния, меди и олова не влияет на соотношение форм пластинчатого графита. Дополнительное введение кремния приводит к снижению твердости, пределу текучести и пределу прочности.

Проведенный информационный анализ показал, что форма, распределение и размер графитных включений однозначно определяют свойства чугунов, в частности трибологические и антифрикционные свойства. Последние, в свою очередь, зависят от химического состава чугуна и некоторых внешних параметров, в частности, температуры заливки. Таким образом, корректируя состав чугуна определенными легирующими элементами или их соотношением, можно регулировать графитную фазу и ее характеристики и, таким образом, оказывать влияние на антифрикционные свойства сплава.

Ранее проведенные исследования [7] показали, что с точки зрения коэффициента скольжения и, следовательно, эффективности сплава АЧС-2 как антифрикционного материала необходимо получить достаточно мелкие включения графита. В базовом сплаве АЧС-2 размер включений графита меняется в широких пределах от 18 до 202 мкм, при этом размер включений соответствует ГОСТ 1585, регламентирующий графитную фазу для этих чугунов.

Экспериментальная часть и обсуждение результатов. Проведенный информационный анализ позволил предположить, что микролегирование некоторыми элементами позволит измельчить и сделать более однородной по размеру графитную фазу. С этой целью был проведен следующий эксперимент. В лабораторных условиях был выплавлен опытный сплав следующего состава, см. таблицу 1. По сравнению с составом клас-

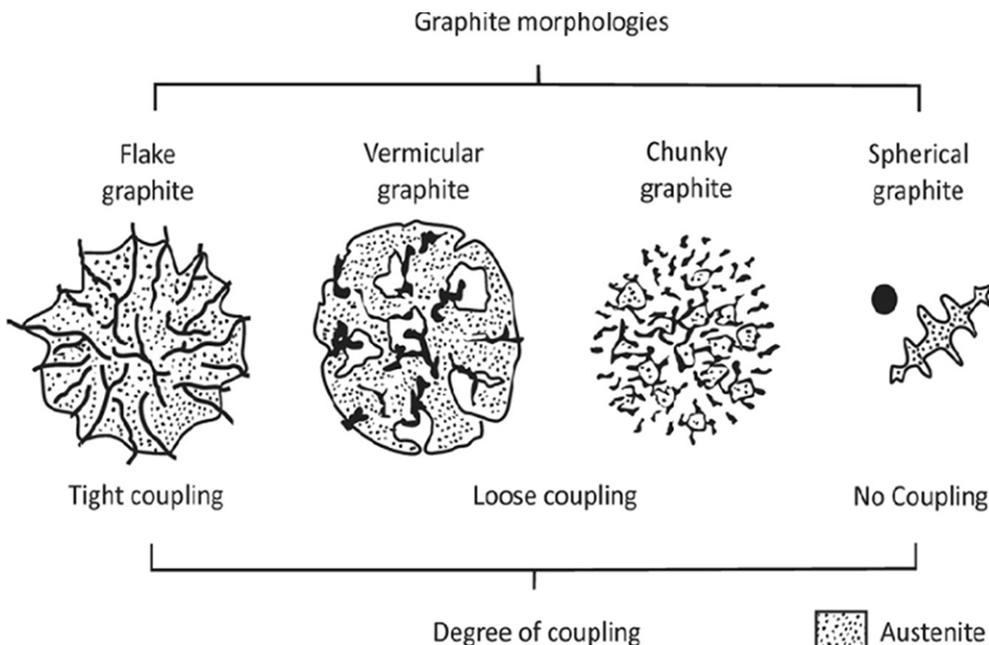


Рисунок 1 – Морфология графитных включений в зависимости от скорости охлаждения [3]

сического чугуна АЧС – 2 в опытном сплаве было увеличено содержание титана до 0,2%, т.е. почти в 2 раза. Необходимое содержание титана обеспечивалось введением ферротитана марки FeT70.

На основании теории, выдвинутой в работе [5], присутствие титана должно способствовать измельчению графита и, таким образом, опосредованно влиять на механические свойства чугуна, в частности на коэффициент скольжения.

Сплав выплавлялся в индукционной печи УИП-25, разливку проводили в песчано-глинистую форму. Условия разливки не менялись в ходе эксперимента. После полного охлаждения под-

готовавливали образцы для исследования микроструктуры и механических свойств. Шлифы готовили на металлографическом комплексе Strue, для металлографического анализа использовалось ПО Thixomet Pro, твердость определялась на твердомере Wilson. Коэффициент скольжения определяли на приборе COF-P01(M) при следующих характеристиках: сухое трение (без смазки), угол наклона – 150; угловая скорость – 100/s. В качестве образца сравнения использовался базовый сплав АЧС-2. Результаты исследований приведены в таблице 2 и на рисунке 2.

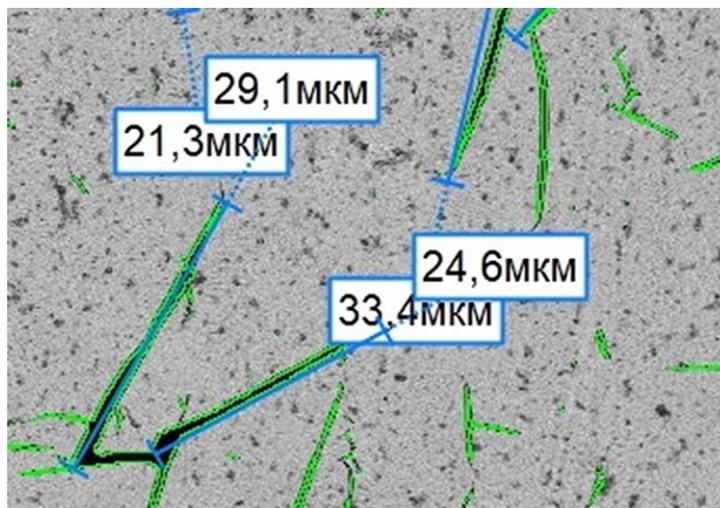
Как видно из данных таблицы, средняя длина

Таблица 1 – Химический состав опытного сплава

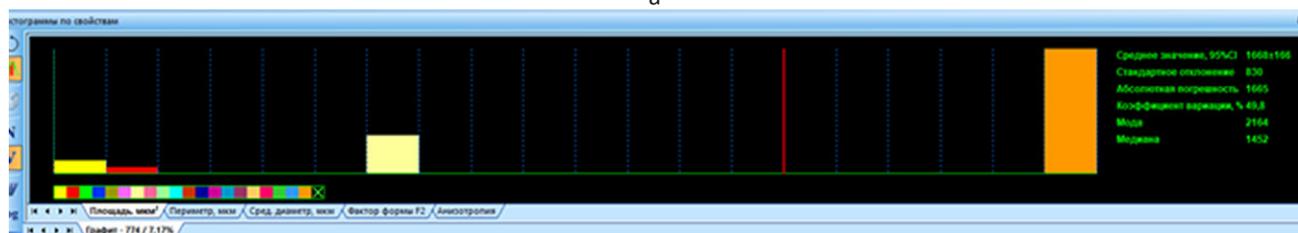
Содержание элементов, %						
C	Si	Cr	Mn	Ni	Cu	Ti
3,1	2,0	0,5	0,8	0,4	0,5	0,2

Таблица 2 – Результаты экспериментальных исследований

Образец	Длина графитных включений, мкм	Площадь, занятая графитом, %	Коэффициент скольжения	Твердость, HV
Базовый сплав АЧС-2	126	6,46	0,33	189
Опытный сплав	27	7,11	0,51	213



а



б

а – длина графитных включений; б – площадь, графитных включений
Рисунок 2 – Результаты количественного анализа микроструктуры образцов

графитных включений в опытном сплаве составила 27 мкм. По сравнению с базовым сплавом АЧС-2 длина графитных включений уменьшилась в 4 раза. При этом площадь, занятая графитом, несколько увеличилась, примерно на 10%, что свидетельствует об увеличении количества свободной графитной фазы. Коэффициент скольжения в опытном сплаве увеличился на 35%, что говорит о его более высоких антифрикционных свойствах, при этом твердость опытного образца несколько увеличилась, примерно на 12%.

Такие изменения в свойствах (увеличение коэффициента скольжения и твердости) можно объяснить следующим образом. Микролегирование титаном до 0,2% приводит к значительному измельчению графитной фазы и некоторому

увеличению ее количества, что способствует увеличению коэффициента скольжения. Некоторое увеличение твердости, по всей видимости, объясняется частичным растворением титана в феррите и его последующей стабилизацией за счет присутствия других элементов в составе.

Заключение. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили благоприятное воздействие микролегирования титаном на эксплуатационные свойства антифрикционного серого чугуна АЧС-2. Введение титана в состав сплава АЧС-2 в количестве 0,2% приводит к измельчению графитной фазы, что благоприятно сказывается на коэффициенте скольжения и твердости сплава.

Данные исследования проведены в рамках реализации гранта Комитета науки МОН РК АР09058350 «Разработка и внедрение технологии производства хромистых антифрикционных чугунов для деталей горно-шахтного оборудования».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поветкин В.В., Керимжанова М.Ф., Орлова Е.П. Совершенствование оборудования для транспорта гидросмесей в обогательном производстве // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2018, № 6, С. 161-169.
2. Theuwissen, Koenraad and Lacaze, Jacques and Laffont-Dantras, Lydia Structure of graphite precipitates in cast iron // (2016) Carbon, vol. 96. pp. 1120-1128. ISSN 0008-6223.
3. Baer W., Chunky Graphite in Ferritic Spheroidal Graphite Cast Iron: Formation, Prevention, Characterization, Impact on Properties: An Overview // Inter Metal Cast 14, pp. 454-488 (2020).
4. Щербакова Е.П., Ковалёва Т.В., Аринова С.К., Адамова Г.Х. Влияние ультразвуковой обработки расплава на механические свойства антифрикционного чугуна АЧС-2 // Литейное производство, Москва: Издательский дом «Литейное производство». – 2021. – № 9. – С. 5-7.
5. Гущин Н.С., Александров Н.Н. Прокаливаемость среднелегированного графита с шаровидным графитом // Конструкционные материалы. – 2009. – С. 14-21.
6. Ribeiro V.C., Rocha F.M., Andrade B.M., Lopes W., Corrêa E.C. Influence of Different Concentrations of Silicon, Copper and Tin in the Microstructure and in the Mechanical Properties of Compacted Graphite Iron // Materials Research, 23(2), June 01, 2020.
7. Shcherbakova Ye.P., Kvon Sv.S., Dostaeva A.M. Studying the graphite phase in antifriction AChS – 2 cast iron // METALURGIJA 61 (2022) 1, pp. 200-202.

Легирлеудің графит қосындыларының параметрлеріне және сұр шойындардың кейбір қасиеттеріне әсері

¹*ЩЕРБАКОВА Елена Петровна, PhD, доцент м.а., sherbakova_1984@mail.ru,

¹КВОН Светлана Сергеевна, т.ғ.к., профессор, svetlana.1311@mail.ru,

²КОВАЛЁВ Павел Валерьевич, т.ғ.к., доцент, kovalev_pv@spbstu.ru,

¹ДОСТАЕВА Ардак Мухамедиевна, PhD, доцент м.а., ardak_erkekyz@mail.ru,

¹АУБАКИРОВ Дастан Рахметоллаевич, докторант, dastan_kstu@mail.ru,

¹«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

²Ұлы Петр Санкт-Петербург политехникалық университеті, Ресей, Санкт-Петербург, Политехническая көшесі, 29,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Мақсаты – легирлеудің графит қосындыларының параметрлеріне және сұр шойындардың кейбір қасиеттеріне әсерін зерттеу. Жұмыста әр түрлі факторлардың графит фазасының параметрлеріне және сұр шойындардың қасиеттеріне әсері туралы қысқаша ақпараттық талдау жасалды. АЖС-2 қорытпасының титанмен микролегирленуінің сырғу коэффициентіне және қаттылыққа әсері бойынша эксперименттік деректер келтірілген. Жүргізілген тәжірибелік зерттеулер титанмен микроқорытпаның АЧС-2 антифрикционды сұр шойынның өнімділік қасиеттеріне пайдалы әсерін растады. Славяндық АЧС-2 құрамына 0,2%

мөлшерінде титанды енгізу графит фазасының ұнтақталуына әкеледі, бұл сырғанау коэффициенті мен қорытпаның қаттылығына жағымды әсер етеді.

Кілт сөздер: графитті қосындылар, ұзындығы, сұр шойын, сырғу коэффициенті, қаттылығы, АЖС-2 қорытпасы, топырақ сорғылары, легірлеу, сапасы, тозуға төзімділігі.

The Effect of Alloying on the Parameters of Graphite Inclusions and Some Properties of Gray Cast Iron

¹*CHSHERBAKOVA Yelena, PhD, Acting Associate Professor, sherbakova_1984@mail.ru,

¹KVON Svetlana, Cand. of Tech. Sci., Professor, svetlana.1311@mail.ru,

²KOVALEV Pavel, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, kovalev_pv@spbstu.ru,

¹DOSTAEVA Ardak, PhD, Acting Associate Professor, ardak_erkekyz@mail.ru,

¹AUBAKIROV Dastan, doctoral student, dastan_kstu@mail.ru,

¹NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», Kazakhstan, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya Street, 29,

*corresponding author.

Abstract. The aim is to study the effect of alloying on the parameters of graphite inclusions and some properties of gray cast iron. The paper provides a brief information analysis of the influence of various factors on the parameters of the graphite phase and the properties of gray cast iron. Experimental data on the effect of titanium microalloying of the ASF-2 alloy on the sliding coefficient and hardness are presented. The conducted experimental studies confirmed the beneficial effect of microalloying with titanium on the performance properties of AChS-2 antifriction gray cast iron. The introduction of titanium into the composition of Slav AChS-2 in the amount of 0,2% leads to the grinding of the graphite phase, which favorably affects the slip coefficient and the hardness of the alloy.

Keywords: graphite inclusions, length, grey cast iron, sliding coefficient, hardness, ASF-2 alloy, soil pumps, alloying, quality, wear resistance.

REFERENCES

1. Povetkin V.V., Kerimzhanova M.F., Orlova E.P. Sovershenstvovanie oborudovaniya dlya transporta gidrosmelej v obogatitel'nom proizvodstve // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten', 2018, no. 6, pp. 161-169.
2. Theuwissen, Koenraad and Lacaze, Jacques and Laffont-Dantras, Lydia Structure of graphite precipitates in cast iron // (2016) Carbon, vol. 96. pp. 1120-1128. ISSN 0008-6223.
3. Baer W., Chunky Graphite in Ferritic Spheroidal Graphite Cast Iron: Formation, Prevention, Characterization, Impact on Properties: An Overview // Inter Metal Cast 14, pp. 454-488 (2020).
4. Chsherbakova E.P., Kovalyova T.V., Arinova S.K., Adamova G.H. Vliyanie ul'trazvukovoj obrabotki rasplava na mekhanicheskie svoystva antifrikcionnogo chuguna AChS-2 // Litejnoe proizvodstvo, Moskva: Izdatel'skij dom «Litejnoe proizvodstvo». – 2021. – No. 9. – pp. 5-7.
5. Gushchin N.S., Aleksandrov N.N. Prokalivaemost' srednelegirovannogo grafita s sharovidnym grafitom // Konstrukcionnye materialy. – 2009. – pp. 14-21.
6. Ribeiro B.C., Rocha F.M., Andrade B.M., Lopes W., Corrêa E.C. Influence of Different Concentrations of Silicon, Copper and Tin in the Microstructure and in the Mechanical Properties of Compacted Graphite Iron // Materials Research, 23(2), June 01, 2020.
7. Shcherbakova Ye.P., Kvon Sv.S., Dostaeva A.M. Studying the grafite phase in antifriction AChS – 2 cast iron // METALURGIJA 61 (2022) 1, pp. 200-202.