

наплавки составила 10,2 мас.%, снизившись относительно расчетного состава на 56%. Рентгенофазовым анализом установлено, что структура поверхностного слоя представлена фазами g-Fe, карбидами VC и тригональными карбидами Me_7C_3 . Сочетание обнаруженных фаз обуславливает формирование в покрытии двойных эвтектик инвертированного типа – на базе карбида ванадия (g-Fe – V_2C) и карбида хрома g-Fe – Me_7C_3 . При этом исследования показали, что комплексное легирование приводит к формированию карбидов, химический состав которых существенно отличается от стехиометрического. Так, сформированные в структуре наплавки эвтектические карбиды Me_7C_3 или, в нашем случае, сложные карбиды $(Cr-Fe-V-Mn)_7C_3$ содержат в два раза меньше хрома, чем карбид Cr_7C_3 (Cr-43,58% против 90,9%). Содержание остальных легирующих элементов в покрытии находятся в следующих пределах концентраций: Cr-43,58 ÷ 45,43; Fe-29,9 ÷ 32,55; V ÷ 7,18 ÷ 8,45; Mn -7,29 ÷ 8,17.

Сравнение абразивной износостойкости ЭЛН-покрытий из комплексно-легированных белых чугунов, показало, что полученное и исследуемое в работе покрытие состава 250X20Г10Ф5 с аустенитной матрицей ($K_H=9,4$) фактически не уступает по уровню абразивной износостойкости покрытию из хромованадиевого чугуна 250X19Ф5 с аустенитно-мартенситной матрицей ($K_H=10$), но значительно превосходит по износостойкости покрытие из чугуна состава 250X20НФ5 с аустенитной матрицей, стабилизированной никелем ($K_H=4,5$) [4].

Список литературы

1. Дампилон Б.В., Дураков В.Г. Особенности структурообразования покрытий из эвтектического хромованадиевого чугуна, полученных электронно-лучевой наплавкой // Перспективные материалы. №1. 2012. С87-91.
2. Influence of Vanadium on Microstructure and Properties of Medium-Chromium White Cast Iron / L. Keming [et al.] // Iron and Steel. - 2005. - № 40. - P. 207-211
3. De Mello J. D. B. Abrasion Mechanisms of White Cast Iron II: Influence of the Metallurgical Structure of V-Cr White Cast Irons // J. D. B. De Mello, M. Durand-Charre // Mater. Sci. Eng. - 1986. - Vol. 78. - № 2. - P. 127-134
4. Дураков В.Г., Дампилон Б.В. Влияние термической обработки на структуру и абразивную износостойкость покрытий из эвтектического хромованадиевого чугуна // Перспективные материалы. №4. 2012. С82-86.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРОВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Д.С.САПАРОВ^{1, 2}

^{1,2}Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

²Республика Казахстан

e-mail: dss51@tpu.ru

Аннотация: Приведены результаты исследования влияния модифицирующих добавок из производственных отходов порошков микрокремнезёма и корунда (Al_2O_3) на структуру и фазовый состав алюминиевого сплава АД31. В качестве модификаторов по 1% - 5% отходов порошка кремниевого производства «Силициум Казахстан» (микрокремнезема марки МК-85) и порошка корунда (абразивного отхода от отрезных дисков). Выявлено положительное влияние модифицирующих добавок из производственных отходов на структуру и свойства сплава – измельчается зерно, изменяется фазовый состав и улучшаются физико-

механические свойства модифицированных алюминиевых сплавов. Проведенные исследования актуальны с точки зрения утилизации отходов металлургических производств, расширения сырьевой базы, а также получения новых материалов с требуемым комплексом функциональных свойств.

Ключевые слова: алюминий, модификатор, микрокремнезём, корунд, структура, состав.

Введение. В последнее десятилетие наблюдается рост объема образования отходов производства и потребления, включая такую категорию как опасные отходы. По разным сведениям, объемы отходов увеличиваются от 3 до 7 млрд. тонн ежегодно [1].

Важной стороной вопроса является негативное влияние промышленных отходов на экологические факторы. Атмосфера катастрофически быстро загрязняется разнообразными выбросами промышленных предприятий. В нее выбрасываются газообразные и твердые продукты, образующиеся при сжигании топлива, протекании тех или иных технологических процессов [2].

Цель работы – исследование структуры и физико-механических свойств модифицированных образцов алюминиевого сплава АД-31.

Методы исследования. Данный алюминиевый сплав был выбран в качестве объекта исследования, так как основной компонент сплава – алюминий – характеризуется большой распространенностью и по объемам производства занимает второе место после железа, используемого для производства чугуна и стали, и, соответственно, имеет невысокую стоимость.

Экспериментальные работы осуществлялись в Национальном исследовательском Томском политехническом университете, Инженерной школе новых производственных технологий в отделении материаловедения. проведено исследование модифицированных образцов из алюминиевого сплава-АД31 (рисунок 1). Показано существенное измельчение структуры и возрастание механических свойств в модифицированном сплаве.

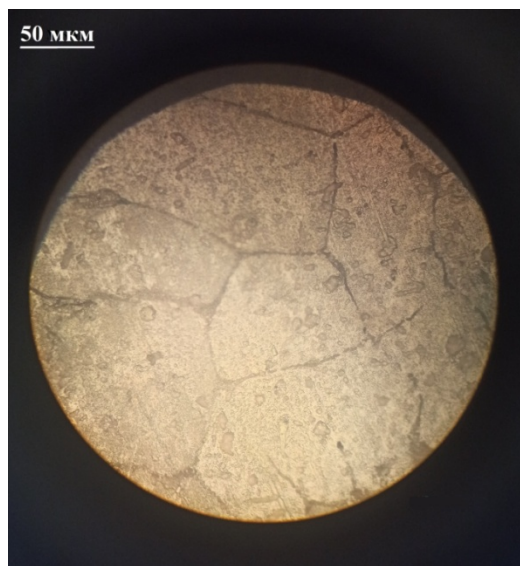


Рисунок 1 – Микроструктура исходного алюминиевого сплава - АД31

Наноиндентирование. Индентирование осуществляли с помощью прибора NanoIndenterG 200. В качестве индентора использовали пирамиду Берковича, нагрузка составляла 500 мН (50 г). Конструкция прибора позволяет выводить диаграмму внедрения индентора на монитор в режиме реального времени. Первичные данные – нагрузка и глубина внедрения пирамиды. По диаграмме внедрения прибор автоматически рассчитывал модуль упругости E_{IT} и микротвердость H_{IT} в соответствии со стандартом ISO 14577.

Измерение твердости по Бринеллю. Индентором служит стальной закаленный шарик, который вдавливают в испытуемый образец на специальном прессе. В результате на поверхности образца образуется отпечаток в виде сферической лунки. Диаметр отпечатка измеряют с помощью лупы, на которой в качестве условных размеров нанесены риски. Число твердости HB (кгс/мм²) – это отношение приложенной нагрузки к площади поверхности отпечатка, его вычисляют по формуле:

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (1)$$

где, F - прилагаемая нагрузка; D и d - соответственно диаметр шарика и отпечатка.

Результаты исследования. Полученные в результате модифицированных образцов алюминиевого сплава были подвергнуты пробоподготовке: шлифовке, полировке и травлению в реактиве для выявления структуры алюминиевых сплавов. Далее образцы были исследованы на оптическом микроскопе ЛабoМет-И и сканирующем электронном микроскопе.

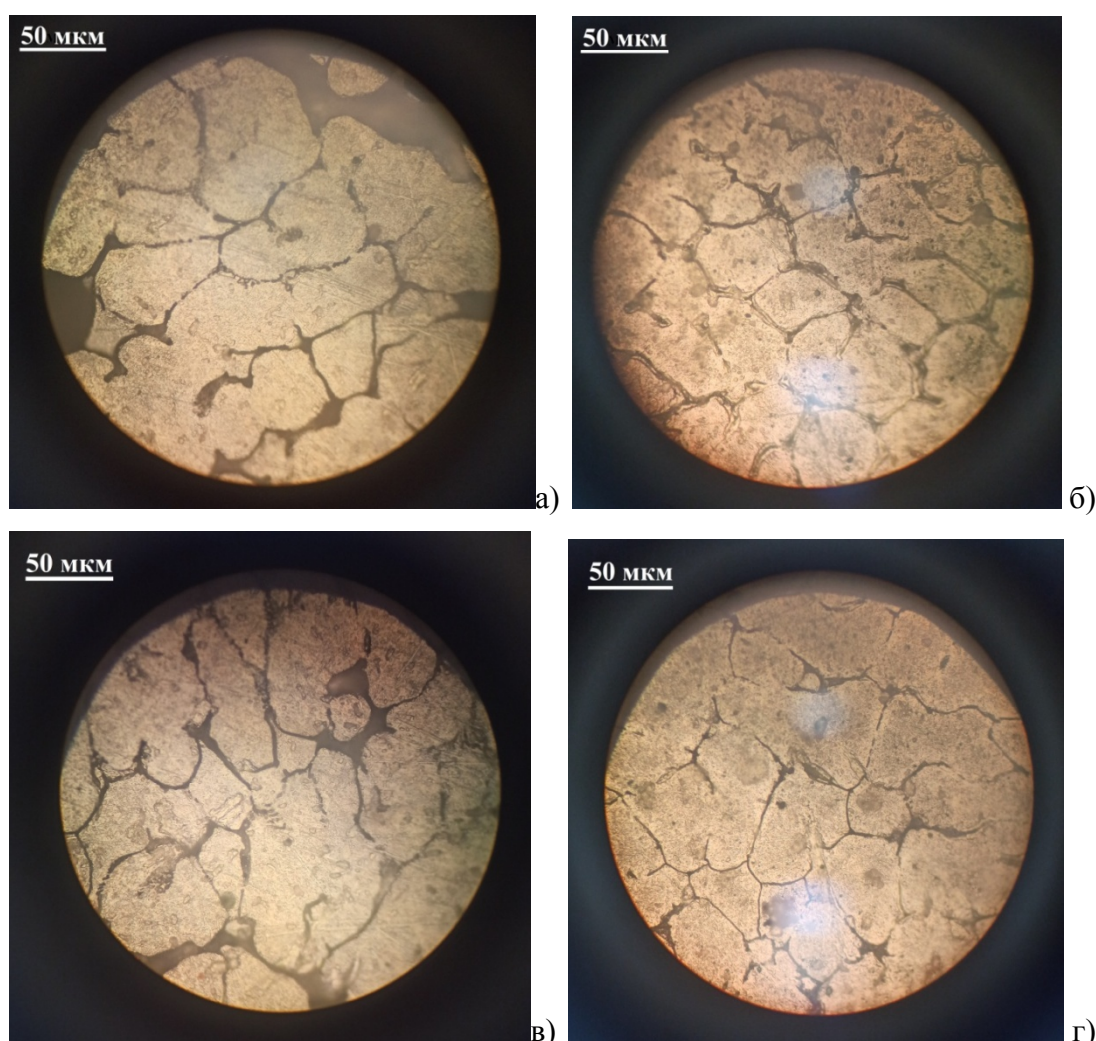


Рисунок 2– Изображение микроструктуры алюминиевого сплава АД31, модифицированного 1%: а – микрокремнезёма; б – корунда Al_2O_3 ; 5%: в – микрокремнезёма; г - корунда Al_2O_3

Как видно из фото микроструктур исходного образца алюминиевого сплава АД-31 (рисунок 1) и образцов модифицированного алюминиевого сплава (рисунок 2) в результате модифицирования микроструктуры обоих образцов измельчаются (визуально) в 4-6 раз.

В результате модифицирования алюминиевого сплава микрокремнезёмом незначительно изменяется состав сплава – появляются примеси Fe и Si (таблица 1).

Таблица 1 – Состав образца алюминиевого сплава в точке (Spectr)1

Элемент	Al	Si	Fe	Всего
Масс. %	62,44±2,14	9,59±0,42	27,97±0,73	100,00
Атом. %	73,31±3,42	10,82±4,37	15,87±2,59	100,00

Подготовленные путем шлифования и полировки образцы помещали в машину для испытания на наноидентификацию, где во время впрыска алмазной пирамиды измеряли модуль упругости и нанотвердость. Далее измеряли твердость по Бринеллю в специальном прессе, в результате на поверхности образца образуется отпечаток. На практике пользуются таблицей, в которой указаны значения твердости в зависимости от диаметра отпечатка. Диаметр шарика и нагрузку выбирают так, чтобы соблюдалось соотношение $d = (0,25 \dots 0,5)D$, т.е. для разных материалов эти параметры различны. Полученные данные по нанотвердости, модулю упругости и твердости по Бринеллю приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Данные nanoиндентирования

Номер образца	Состав	Модуль упругости, МПа	Нано-твердость, МПа	Твердость по Бринеллю, НВ	Предел прочности σ_B , МПа
1	АД-31-1% SiO ₂ (микрокремнезем)	61700	409	22,3	78,05
2	АД-31-5% SiO ₂ (микрокремнезем)	81438	580	22,7	79,45
3	АД-31- 1%Al ₂ O ₃ (корунд)	52172	412	28,9	101,15
4	АД-31-5%Al ₂ O ₃ (корунд)	93269	956	61,2	214,2
5	АД-31	92719	904	51	178,5

В результате проведенных измерений на нанотвердость и твердости по Бринеллю, в модифицированных алюминиевых сплавах незначительно повышается физико-механическое свойства. Результаты nanoиндентирования показывают, что наибольшие значения модуля упругости и нанотвердости наблюдались на четвертом образце.

Заключение. Таким образом, в результате модифицирования производственными отходами микрокремнезёма и корунда Al₂O₃ алюминиевые сплавы изменяют свою структуру и фазовый состав. Микроструктура измельчается, следовательно, согласно закону Холла-Петча, улучшаются механические свойства (повышаются прочностные свойства), которые можно и дальше регулировать, применяя различные режимы термической обработки [3].

Введение в качестве модификатора порошка кремниевого производства «Силициум Казахстан» (микрокремнезема марки МК-85) не привело к повышению физико-механических свойств алюминиевого сплава АД-31. Однако с позиций сохранности окружающей среды (утилизация отходов кремниевого производства) эта технология допустима для ряда областей промышленности.

Показано, что наиболее перспективным способом модифицирования алюминиевого сплава АД-31 является введение при его плавке порошка корунда (абразивного отхода от отрезных дисков). Данный способ приводит к существенному повышению физико-механических

свойств сплава. Так, модуль нормальной упругости повышается с 92,7 ГПа для не модифицированного до 93,3 ГПа для модифицированного, твердость по Мартенсу – с 904 МПа до 956 МПа, по Бринеллю НВ– с 51,0 до 61,2 соответственно. Значение предела прочности составило 214,2 МПа. Это дает основание считать разработанный способ модифицирования перспективным для технологии литых алюминиевых сплавов нового поколения.

Список литературы

1. Совершенствование законодательства с целью повышения эффективности переработки и использования отходов производства и потребления [Электронный ресурс]. URL: <http://council.gov.ru/activity/activities/roundtables/29479/>
2. Проблема промышленных отходов [Электронный ресурс]. URL: <https://msd.com.ua/tehnologiya-teploizolyacii/problema-promyshlennyx-otxodov/>
3. Гуреева М.А. Особенности модифицирования алюминиевых сплавов системы Al–Mg–Si. // Конструирование, расчеты, материалы. – 2015. - № 5 (313). – с. 46.

ПЛАКИРОВАНИЕ СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ СТАЛИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКОЙ

Я.С.СТИЛИНСКИЙ¹, И.А.ЧЕРНОВ², А.К.ПИМОНОВ³

¹Томский политехнический университет, 634050, Томск.

²Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
603950 Нижний Новгород, Россия

³Лаборатория металлографии и спектрального анализа судостроительного комплекса
«Звезда», 692801 г. Большой Камень, Россия
E-mail: yar8530@mail.ru

Биметаллы в общем и плакированные стали используют там, где необходимы совокупные свойства, которых не достичь применением гомогенных материалов. В судостроении таким свойством является высокая прочность в сочетании с высокой коррозионной стойкостью и износостойкостью. На сегодняшний день существует большое разнообразие технологий производства биметаллов, от банальной электродуговой наплавки до применения аддитивных технологий. Но судостроительные листы обшивки имеют колоссальные размеры (5,5 x 14 метров). Поэтому не все технологии подходят для их производства. Можно выделить три подходящих технологии: сварка пакетов горячей прокаткой, электрошлаковая наплавкой и сварка взрывом. Но вышеперечисленные технологии при производстве плакированной стали для судостроения оказываются экономически невыгодными, потому что конечный продукт получается чрезмерно дорогим из-за процессов последующей термообработки и подготовительных процессов. Поэтому, в данной работе, было решено исследовать свойства плакированной стали полученной технологией, исключаяющей удорожающие ее моменты. Для этого была выбрана электродуговая наплавка с последующей холодной прокаткой (ЭДНПХ).

Для изготовления образцов плакированной стали были выбраны коммерчески доступные материалы, такие как сталь 10Г2ФБЮ (в ходе проведения исследований была заменена на судостроительный аналог РСЕ40W) в качестве основного металла и, нержавеющая конструкционная сталь 12Х18Н10Т, в качестве покрывающего (плакирующего) металла.

Конструкционная низкоуглеродистая легированная сталь марки 10Г2ФБЮ отвечает требованиям, предъявляемым Правилами Регистра судоходства [1] к материалам для изготовления корпусов судов. Данная сталь выбрана исходя из возможности сохранять