ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/262

**ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ
КРИОКАТАНОГО И СОСТАРЕННОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА**

Крымский С.В., Ильясов Р.Р., Пинегина А.А., Автократова Е.В.,
Ситдилов О.Ш. Маркушев М.В.

Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа

Исследовали влияние криопрокатки и режимов старения на параметры электрохимической коррозии алюминиевого сплава Д16. Материалом исследования служил промышленный горячепрессованный прутки Ø 60 мм сплава стандартного состава (Al-4,4Cu-1,4Mg-0,7Mn, вес.%), имевший грубоволокнистую микроструктуру. Заготовки в виде пластин толщиной 5 мм, вырезанные вдоль оси прутка, нагревали до 500°C и после часовой выдержки закачивали в воду для фиксации пересыщенного алюминиевого твердого раствора. Далее сплав прокатывали в изотермических условиях при температуре жидкого азота с суммарной степенью деформации $\epsilon \sim 2$, после чего часть образцов выдерживали при комнатной температуре в течение ~ 6 суток (состояние ЕС), а часть отжигали при температуре 190°C в течение 12 часов (состояние ИС). Аналогично старили образцы после закалки.

Структуру и фазовый состав сплава анализировали методами оптической и просвечивающей электронной микроскопии (ОМ и ПЭМ). Микроструктуру изучали с помощью микроскопа Nikon L-150 на механически полированных и протравленных реактивом Келлера шлифах. Тонкую структуру исследовали в электронном микроскопе JEOL 2000EX на объектах, полученных струйной электрополировкой в 30% растворе азотной кислоты в метаноле. Параметры электрохимической коррозии определяли на образцах с размерами рабочей части 7x7x0,7 мм с использованием универсального потенциостата-гальваностата Р-2Х «Элинс» в режиме линейной развертки потенциала от -500 до 600 мВ со скоростью 10 мВ/с, в рабочем растворе 3,5% NaCl + 1% HCl в электрохимической ячейке с разделением рабочего электрода и электрода сравнения электролитическим ключом. С помощью экстраполяции Тафеля из поляризационных кривых определялся потенциал и ток коррозии. В качестве электрода сравнения использовали стандартный хлорсеребряный электрод ЭСр-10101, вспомогательного – стальной прутки.

Металлографический анализ показал, что криопрокатка (КП) не изменила тип исходной грубоволокнистой структуры прутка, увеличив длину и уменьшив толщину волокон. При этом, внутри них сформировалась развитая деформационная структура, состоящая преимущественно из дислокационных ячеек размером 100-200 нм (см. подробнее в [1,2]). Кроме того, после прокатки алюминиевая матрица осталась пересыщенной основными легирующими элементами [2]. Поэтому при последующем вылеживании сплава при комнатной температуре имел место распад алюминиевого твердого раствора с формированием зон Гинье-Престона-Багаряцкого (ЗГПБ). При искусственном же старении при температуре 190°C, в результате одновременного протекания и распада, и статических возврата и рекристаллизации, формировалась смешанная структура, состоящая из областей возврата с полукоргерентными пластинчатыми выделениями основной упрочняющей фазы Al_2CuMg и рекристаллизованных областей, с более крупными, компактными некогерентными выделениями упрочняющих фаз Al_2CuMg и $CuAl_2$. Кроме того, прокатка вызвала механическое дробление крупных частиц первичных фаз и увеличила развитость строчечности их расположения [2].

Установлено, что криогенная прокатка и последующее естественное старение привели к смещению потенциала коррозии в сторону положительных значений потенциала по сравнению с недеформированным и естественно состаренным состоянием (таблица). Это свидетельствовало о сдвиге реакций на поверхности образца в сторону анодного контроля. Вероятной причиной изменения типа реакций было ускорение кинетики распада твердого раствора с образованием ЗГПБ и метастабильных фаз. При этом ток коррозии также немного уменьшился. Такое поведение криокатаного сплава было обусловлено повышением плотности

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

дефектов кристаллического строения, что облегчало диффузию в теле образца. Также вклад в уменьшение тока коррозии могло вносить уменьшение размера и доли избыточных фаз при прокатке.

Таблица. Параметры электрохимической коррозии криопрокатанного и состаренного по различным режимам алюминиевого сплава Д16

Состояние	Потенциал коррозии, мВ	Ток коррозии, мкА/см ²
Т	–688	0,768
КП+ЕС (6 суток)	–613	0,707
Т1	–844	1,352
КП+ИС (190°C, 12 ч)	–756	0,941

Из таблицы также следует, что искусственное старение недеформированного сплава (Т1) значительно сдвинуло потенциал коррозии в сторону отрицательных значений по сравнению с состоянием Т, а также почти двукратно увеличило ток коррозии. Такое электрохимическое поведение сплава вероятно вызвано выделением и формированием менее дисперсных и когерентных матрице упрочняющих фаз, чем при естественном старении.

Электрохимическое же поведение криокатаного и искусственно состаренного сплава характеризовалось более положительным потенциалом коррозии и меньшим током, чем в недеформированном сплаве. Сдвиг потенциала коррозии в сторону положительных значений вероятно обусловлен установленным ранее фактом ускорения и изменения стадийности распада пересыщенного твердого раствора в сильно нагартованной матрице [3]. А именно, выделением наряду с упрочняющей Al_2CuMg фазой, являющейся анодом по отношению к матрице, фазы $CuAl_2$, катодной относительно матрицы. Таким образом, причиной сдвига потенциала являлось изменение фазового состава, вызванного формированием при криопрокатке сильно нагартованной матрицы. Уменьшение же тока коррозии связано с процессом рекристаллизации, приведшем к увеличению доли нанометрических зерен, подавлению формирования и уменьшению ширины зон, свободных от выделений, а также изменению морфологии продуктов распада.

1. Krymskiy S.V., Avtokratova E.V., Markushev M.V., Murashkin M.Yu, Sitdikov O.Sh. Structure and strength of cryorolled and heat treated 2xxx aluminum alloy // Materials Science Forum. 2011. V. 667-669. P. 925-930.
2. Автократова Е.В., Крымский С.В., Маркушев М.В., Ситдилов О.Ш. Особенности структуры алюминиевого сплава Д16, интенсивно деформированного при температуре жидкого азота // Письма о материалах. 2011. Т. 1. № 2. С. 92-95.
3. Крымский С.В., Автократова Е.В., Ситдилов О.Ш., Маркушев М.В. Твердость криопрокатанного и искусственно состаренного алюминиевого сплава Д16 // Письма о материалах. 2012. Т. 1. № 5. С. 45-48.

Работа выполнена при поддержке Министерством науки и высшего образования Российской Федерации по государственному заданию ИПСМ РАН №. АААА-А19-119021390107-8 (анализ микроструктуры) и Российского научного фонда (РНФ) в рамках гранта № 16-19-10152-П (электрохимические испытания). Экспериментальные исследования выполнены на базе ЦКП ИПСМ РАН.