

Следует отметить, что в рамках работы конференции для всех участников впервые организованы техническая экскурсия на аэродром «Антонов» с демонстрацией лучших достижений украинского авиастроения, в том числе самолета «Мрія» и экскурсия в первый инновационный парк в Украине «Unit.city».

Необходимо отметить высокий уровень проведения конференции и выразить благодарность ее организаторам. Созданная рабочая обстановка способствовала развитию тематических дискуссий и установлению творческих контактов между научными сотрудниками в области сварки, металлургии и материаловедения.

А. А. Полишко

РАЗРАБОТКИ ИЭС им. Е. О. ПАТОНА

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СПОСОБОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОСАЖДЕНИЯ СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Материалы со слоистой структурой, состоящие из последовательно чередующихся слоев с разным химическим составом и свойствами, находят широкое применение в качестве материалов функционального назначения. Традиционное получение таких материалов способами прокатки и спекания не обеспечивает возможность вариации толщины и химического состава слоев. С этой точки зрения перспективным является способ электронно-лучевого осаждения в вакууме. Так, возможность использования в электронно-лучевой установке нескольких электронно-лучевых пушек обеспечивает одновременное испарение веществ разного химического состава с последовательным осаждением их паровых фаз на подложку. Разработка технологических параметров получения слоистых структур на основе компонентов с разным химическим составом и структурой за один технологический цикл и установление корреляционных зависимостей между их структурными характеристиками и свойствами открывает возможность для создания технологических основ получения новых материалов функционального назначения.

Разработка технологических основ получения способом электронно-лучевого осаждения слоистых конденсатов разного структурного типа в виде фольг и покрытий и установление корреляционных соотношений между структурными характеристиками и свойствами материалов, обеспечивающих возможность их использования в качестве функциональных — задача, которую поставили перед собой сотрудники ИЭС.

На примере двухслойной структуры вакуумных конденсатов на основе двух материалов с различающимися физико-механическими характеристиками (инвара и меди) показана возможность получения

тонких биметаллических фольг для термочувствительных элементов, которые способны к знакопеременной деформации при изменении температуры в диапазоне от -100 до 500 °С. Циклическая стойкость характеристик биметаллической фольги обеспечивается высоким уровнем прочности и термомеханической стойкости за счет наноразмерной структуры слоев нанодвойниковой меди и инвара с нанофрагментированными зернами.

На основе двухслойной системы, состоящей из слоев Al и TiO_2 , способом электронно-лучевого осаждения получены термостабилизирующие покрытия, которые при определенном соотношении толщин слоев обеспечивают соотношение коэффициентов поглощения и эмиссии солнечной энергии в интервале значений $0,7...1,4$, что обеспечивает минимальное колебание температуры поверхности при изменении интенсивности солнечного излучения. Такие покрытия могут быть использованы для термической защиты металлических конструкций, работающих в условиях открытого космоса и подвергающихся неравномерному нагреву.

На примере многослойных металлических эвтектических систем, которые характеризуются термической нестабильностью, изучено влияние технологических параметров электронно-лучевого осаждения в вакууме на формирование их структурных характеристик, обеспечивающих функциональные свойства материалов. Показано, что в многослойной системе Al/Si присутствие алюминия обеспечивает низкотемпературную кристаллизацию аморфного кремния, что может быть использовано при изготовлении солнечных батарей с многослойной структурой.

Установлено, что структурная нестабильность многослойных фольг на основе эвтектических си-

стем при нагреве обусловлена значительной диффузионной подвижностью компонентов и реализуется фрагментацией слоев и генерацией вакансий, что приводит к формированию композиционной пористой структуры и обеспечивает низкотемпературную сверхпластическую деформацию фольги при термомеханическом воздействии. Полученные результаты позволили разработать технологические основы диффузионной сварки давлением труднодеформируемых материалов, таких как алюминий-матричные композиты, интерметаллиды титана и жаропрочные никелевые сплавы, с использованием многослойных фольг на основе

эвтектических систем в качестве промежуточной прослойки. Термическая нестабильность и низкотемпературная сверхпластичность многослойной фольги облегчают установление физического контакта свариваемых поверхностей и обеспечивают интенсивное протекание диффузионных процессов в области соединения, что позволяет снизить температуру, давление и продолжительность сварки. Это открывает новые возможности для разработки технологии изготовления деталей на основе жаропрочных и разнородных материалов без ухудшения их эксплуатационных характеристик.

СОЗДАНИЕ НОВОГО ВЫСОКОПРОЧНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА И РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ СПОСОБОВ СВАРКИ

Развитие авиационной и ракетной техники требует повышения эксплуатационных характеристик титановых сплавов. Максимальный весовой эффект обеспечивают титановые сплавы с высокой прочностью. Это связано с тем, что заметная экономия массы в результате применения титановых сплавов возможна только при вполне определенном уровне их прочности. Новые сложнoleгированные сплавы должны иметь более высокие механические характеристики при сохранении хорошей свариваемости.

Основываясь на результатах расчетов и проведенных экспериментов по определению механических характеристик, разработан новый высокопрочный ($\alpha + \beta$)-титановый сплав Т120 на основе 8-компонентной системы легирования Ti-Al-Mo-V-Nb-Cr-Fe-Zr, которая обеспечивает прочность на уровне не менее 1200 МПа в условиях приемлемого уровня пластических характеристик.

Проведены экспериментальные плавки по получению слитков диаметром 150 мм высокопрочного ($\alpha + \beta$)-титанового сплава Т120 способом ЭЛП. Слитки характеризуются химической однородностью, отсутствием включений низкой (LDI) и высокой (HDI) плотности. Определены режимы термомеханической обработки слитков нового высокопрочного ($\alpha + \beta$)-титанового сплава Т120, которые обеспечивают необходимый комплекс механических свойств полуфабрикатов и значение на уровне $\sigma_b = 1270$ МПа при $KCV = 14$ Дж/см².

Построена трехмерная математическая модель тепловых процессов в титане при сварке перемещаемым источником нагрева, основу которой составляет дифференциальное уравнение теплопроводности. Разработанная модель позволяет определить размеры и форму шва, а также размеры

и форму ЗТВ, в которых протекают полиморфные превращения при аргонодуговой сварке (АДС) титанового сплава Т120. Полученные поля температур позволили определить мгновенные скорости охлаждения при остывании сварного соединения.

Исследования механических свойств сварных соединений высокопрочного титанового сплава Т120, выполненных ЭЛС с последующей локальной термической обработкой, показали значения прочности $\sigma_b = 1258$ МПа и ударной вязкости металла шва $KCV = 7$ Дж/см².

Определены свойства соединений сплава Т120, выполненных АДС без подачи и с подачей присадочной проволоки. Высокие значения прочности ($\sigma_b = 1110$ МПа) при удовлетворительной ударной вязкости ($KCV = 24$ Дж/см²) соединений сплава Т120, выполненных АДС вольфрамовым электродом, обеспечиваются при использовании присадочной проволоки ВТ1-00св и режимах сварки, при которых содержание металла присадочной проволоки в металле шва составляет 10 % от основного металла, в сочетании с послесварочным отжигом. При содержании металла ВТ1-00св в количестве 20 % от основного металла шва уровень прочности ($\sigma_b = 1047$ МПа) снижается ниже 85 % от прочности основного металла, а ударная вязкость металла шва максимальная ($KCV = 27$ Дж/см²).

Экспериментально показано, что снижение погонной энергии при АДС вольфрамовым электродом по слою флюса АНТ25 титанового сплава Т120 с 1300 до 900 Дж/м обеспечивает повышение предела прочности сварных соединений с 1040 до 1150 МПа при неизменных показателях ударной вязкости и формирование в металле шва и ЗТВ более однородной структуры.