

ПРЕМИЯ им. АКАДЕМИКА НАН УКРАИНЫ И. К. ПОХОДНИ

Ежегодно, с целью выделения ученых, опубликовавших лучшие научные работы, создавших изобретения и открытия, имеющие важное значение для развития науки и экономики, Национальная академия наук Украины присуждает премии имени выдающихся ученых.

В 2017 г., в частности, был объявлен конкурс на премии имени Н. Н. Боголюбова (отделение математики НАН Украины), Д. В. Волкова (отделение ядерной физики и энергетики НАН Украины), С. М. Гершензона (отделение биохимии, физиологии и молекулярной биологии НАН Украины), И. К. Походни (отделение физико-механических проблем материаловедения) и других известных ученых.

Ученый совет ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины рассмотрел представление и постановил выдвинуть на соискание премии им. академика НАН Украины И. К. Походни за 2017 г. цикл работ под названием «Высокоэффективные сварочные материалы с улучшенными санитарно-гигиеническими показателями для сварки современных высокопрочных низколегированных сталей», выполненный сотрудниками отдела «Исследование физико-химических процессов в сварочной дуге» Института д.т.н. В. В. Головки, к. т. н. И. Р. Явдоциным, д.т.н. В. Н. Шлепаковым. Представление было поддержано отделением физико-технических проблем материаловедения НАН Украины и на заседании президиума НАН Украины от 14.02.2018 г. было принято решение о присуждении этой работе премии имени академика НАН Украины И. К. Походни. Премия была вручена первым вице-президентом НАН Украины академиком А. Г. Наумовцем на общем собрании НАН Украины 26 апреля 2018 г.



В. В. Головки



И. Р. Явдошин



В. Н. Шлепаков

*Сотрудники Института электросварки им. Е. О. Патона сердечно поздравляют
В. В. Головки, И. Р. Явдошина и В. Н. Шлепакова
с признанием их заслуг и желают дальнейших творческих успехов.*

Научно-техническое представление работы

Цикл работ состоял из 28 статей и монографий, которые были опубликованы в Украине и за рубежом в период с 2013 по 2017 гг. Изложенные в этих работах результаты исследований способствуют дальнейшему развитию теории и практики комплексного микролегирования через состав сварочных материалов при дуговой сварке плавлением. Представленные работы направлены на создание высокоэффективных сварочных материалов с улучшенными санитарно-гигиеническими показателями, являются актуальными для совре-

менной промышленности и содержат новые важные научные знания.

Одним из основных направлений работ по теме является изучение закономерностей влияния комплексного микролегирования с использованием металло-минеральных комплексов, вводимых в сварочную ванну вместе с шлакообразующими компонентами через сварочные материалы, на структурообразование и повышение показателей свойств сварных соединений ВПНЛ сталей, создание сварочных материалов и технологии сварки,

соответствующих современным требованиям производства металлоконструкций.

Наиболее распространенный в промышленной практике класс современных ВПНЛ сталей соответствует уровню прочности 560 ... 620 МПа (по показателю предела текучести). Несмотря на металлургические аспекты использования известных методов легирования и микролегирования металла швов при сварке сталей этой категории прочности, насущной является проблема исследования и разработки систем микролегирования металла шва через сварочный материал, которые позволят получить мелкозернистую структуру металла швов без образования пленочных и остроугольных выделений на границах зерен, что будет способствовать повышению вязко-пластичных свойств сварных соединений при достижении необходимых показателей прочности. Решение указанных проблем является актуальным и важным направлением исследований и разработок, которые выполнялись в рамках научных программ ведомственного и целевого заказов НАН Украины, включавших исследования процессов структурообразования при комплексном легировании и микролегировании, их влияние на показатели механических свойств металла сварных соединений, разработку составов сварочных материалов и испытание разработок в промышленных условиях.

Был выполнен комплекс металлургических, металлографических и технологических исследований, которые позволили определить условия формирования литой структуры швов при инокулировании жидкой ванны тугоплавкими добавками и их реакции как второй фазы на кинетику роста первичных дендритов. Доли включений и выделения второй фазы существенно ограничивают рост зерна. Этому способствуют элементы, образующие труднорастворимые примеси типа устойчивых карбидов (титан, ванадий, цирконий, ниобий), оксидные включения, нерастворимые в аустените. По мере того, как размер зерен или частиц становится все меньше и меньше, все большая часть атомов оказывается на границах или свободных поверхностях. Благодаря тому, что доля поверхностных атомов в ультрадисперсных материалах составляет десятки процентов, ярко проявляются все особенности поверхностных состояний, и разделение свойств на «объемные» и «поверхностные» приобретает в какой-то степени условный характер. Развитая поверхность влияет как на параметры решетки, так и на электронную подсистему. Наноструктурные материалы, вследствие очень малого размера зерен, содержащие в структуре большое количество границ зерен, кото-

рые играют определяющую роль в формировании их физических и механических свойств. Вследствие этого в проведенных экспериментальных исследованиях и разрабатываемых структурных моделях значительное внимание уделялось как самим наноматериалам экзогенного происхождения или инокулированным образованиям, так и границам зерен микроструктуры, образующихся под их влиянием.

В результате проведенных исследований было установлено, что наноразмерные неметаллические включения являются неизменной составляющей микроструктуры металла сварных швов. Они могут быть внесены в сварочную ванну в виде высокотемпературных соединений через сварочные материалы или образовываться в результате металлургических реакций в сварочной ванне. Данные включения активно участвуют в металлургических реакциях как в сварочной ванне, так и в кристаллизующемся металле, и во многом определяют условия формирования микроструктуры металла сварных швов. Наличие в сварочной ванне достаточного количества неметаллических включений, сопоставимых по своим размерам с зародышами кристаллизующегося металла, способствует формированию мелкозернистой первичной структуры сварного шва. Показано, что в зависимости от своего химического состава, нановключения, расположенные в теле аустенитных зерен, могут ускорять или замедлять диффузию углерода в процессе перекристаллизации и влиять, за счет этого, на образование ферритной фазы в виде верхнего или нижнего бейнита. Установлено влияние ликвации тугоплавких инокулянтов в процессе кристаллизации по границам аустенитных зерен на подавление образования зернограничного феррита и интенсификацию процесса зарождения внутризеренного феррита за счет снижения межфазной энергии.

Разработка методов инокулирования сварочной ванны тугоплавкими соединениями, создание компьютерных программ с целью прогнозирования количества и состава включений в металле сварного шва, позволили добиться формирования микроструктуры металла швов ВПНЛ сталей, обеспечивающей сочетание высоких показателей их прочности, пластичности и вязкости. Исходя из результатов проведенных исследований разработан состав порошковой проволоки типа «metal core», содержащий легирующую часть, предназначенную для достижения показателей прочности металла сварных швов на уровне основного металла. Результаты исследований реализованы в технологии дуговой сварки в среде защитного газа

(Ar + CO₂) ВПНЛ сталей порошковой проволокой, при котором обеспечивается ввод в расплав ванны инокулянтов, исходя из определенных физико-химических и химико-металлургических характеристик, для повышения уровня функциональных свойств сварных соединений.

С целью повышения устойчивости сварных соединений ВПНЛ сталей против хрупкого разрушения проведено экспериментальное исследование путей снижения потенциального содержания водорода в сварочных материалах (покрытых электродах, порошковой проволоке, агломерированном флюсе). Выполнены с применением методов комплексного термического анализа и масс-спектрометрии газовой фазы при динамическом нагреве от 30 до 1500 °С исследования физико-химических свойств смесей порошковых материалов, моделирующих состав сердечника порошковой проволоки. Они позволили оценить степень развития термохимической реакции деструкции в модельном сердечнике с выделением газов, а также развитие реакций окисления, образования комплексов и плавления смесей с образованием первичного расплава шлаковой и металлической фаз. Методом дифференциальной сканирующей калориметрии проведена оценка затрат тепла на процессы нагрева и плавления порошковых смесей, моделирующие сердечник порошковых проволок, и эндотермические и экзотермические эффекты, сопровождающие эти процессы. При нагревании и плавлении порошковых смесей эндотермические процессы деструкции минеральных материалов, удаления влаги и плавления совмещаются с экзотермическими эффектами окисления металлических составляющих и образования соляно-оксидных комплексов, влияющих на общий характер и температурный интервал интенсивного хода реакций. Регулирование состава сердечника с учетом взаимного влияния его компонентов при нагревании позволяет управлять процессами плавления проволоки, что стало основой проектирования порошковых проволок с необходимыми технологическими характеристиками.

Выявлено существенное влияние комплексных лигатур на основе алюминия, лития, магния и кальция, которые вводятся в сердечник порошковых проволок, на ход процессов шлако- и газообразования и расход тепла при нагревании и плавлении порошковых композитов, направленных на гомогенизацию процессов и уменьшение затрат энергии на плавление порошковой проволоки, особенно для условий скоростного плавления, характерного для порошковых проволок малого диаметра.

Разработаны и проверены экспериментально технологические мероприятия контролируемой термической обработки сырьевых материалов и шихты, показана перспективность внедрения предлагаемой технологии из порошковых композиций шихты сварочных материалов с целью снижения содержания водорода в металле швов до сверхнизкого уровня.

Предложена новая технологическая схема обработки поверхности порошковой проволоки комплексом масел и защитных паст в процессе волочения, позволяющая существенно уменьшить количество остаточного масла на поверхности проволоки и защитить ее поверхность от коррозии при хранении перед использованием. Комплекс технологических мероприятий внедрен на Государственном предприятии «Опытный завод сварочных материалов ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины».

Проведен комплекс работ по усовершенствованию оборудования и технологии производства порошковой проволоки малых диаметров в условиях Государственного предприятия «Опытный завод сварочных материалов ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины». Изготовлены опытно-промышленные партии порошковых проволок типа ПГ-59-А4У по национальному стандарту ДСТУ 26271 и типов ISO 18276-A - T 62 2 Mn2.5NiMo P M 2 H5 и ISO 18726-B - T 69 4 T1 1 M A N4M1 H5. Испытания порошковых проволок подтвердили соответствие требованиям технической документации, национальным и международным стандартам на порошковые проволоки для сварки сталей повышенной и высокой прочности в среде защитных газов.

Разработаны нормативно-технологическая документация, технические условия и инструкции по изготовлению разработанной порошковой проволоки в условиях промышленных производств. Разработана базовая технологическая документация на сварку соединений проката низколегированных сталей высокой прочности категории от T55 до T69 по международным стандартам EN ISO 17632 и EN ISO 1826.

Конкурентная способность современных материалов для дуговой сварки в значительной степени определяется их сварочно-технологическими и санитарно-гигиеническими показателями. Именно в этом направлении ведутся работы ведущими зарубежными фирмами-производителями — «ESAB» (Швеция), «Lincoln Electric» (США), «Böhler» (Австрия), направленные на модернизацию покрытых электродов с целью повышения их конкурентоспособности и широкого проникнове-

ния на рынки постсоветских стран. Чтобы противостоять этому натиску необходимо иметь разработки отечественных электродов как с высоким уровнем технических характеристик, так и санитарно-гигиенических показателей. Достичь результатов по этим направлениям возможно только на базе детального изучения металлургических процессов, происходящих при дуговой сварке покрытыми электродами, и, в первую очередь, процессов плавления и переноса электродного металла, испарения и конденсации элементов с расплавом металла и шлака.

Процессы дуговой сварки сопровождаются образованием токсичных аэродисперсных частиц размером от 0,005 до 20 мкм, названных сварными аэрозолями, которые представляют опасность для здоровья человека и окружающей среды. Размер и форма указанных частиц определяют место их дальнейшего размещения в дыхательном тракте. Кроме этого, биологическая активность ингалированных частиц сварочных аэрозолей, как и других слабо растворимых веществ, зависит от их плотности, размера, формы и удельной поверхности. Отсюда вытекает актуальность исследований по построению соответствующих математических моделей, позволяющих получить многочисленные соотношения между характеристиками частиц сварочного аэрозоля, распределением их по размеру и параметрам дуговой сварки.

С помощью диффузионного аэрозольного спектрометра ДАС 2702 впервые показана динамика изменения размеров и количества частиц твердой составляющей сварочного аэрозоля (ТССА) с момента их образования в течение 15 ... 20 мин. Проведено исследование, в результате которого было установлено, что субмикроскопические доли ТССА (размер до 40 нм), которые образовались в результате конденсации паровой фазы, быстро коагулируют и увеличиваются в размере до 180...200 нм и более. Исходя из результатов физико-химических исследований и вычислительных экспериментов, были созданы математические модели, которые позволили адекватно прогнозировать процессы образования сварочных аэрозолей для различных видов дуговой сварки плавлением и, в частности, сварки покрытыми электродами. На базе компьютерного моделирования и лабораторных исследований разработаны покрытые электроды марки АНО-39 с более высокими, по сравнению с существующими отечественными и зарубежными марками электродов общего назначения для сварки малоуглеродистых и низколе-

гированных сталей, санитарно-гигиеническими показателями.

По данным коллектива исследователей, химический состав ТССА в основном зависит от содержания в покрытии и электродном стержне компонентов, которые характеризуются высокой упругостью паров (марганца, щелочных металлов, фтористых соединений и т.п.), а также от основности создаваемого в результате плавления покрытия шлака. Последняя характеристика влияет на интенсивность поступления в аэрозоли соединений щелочных и щелочноземельных металлов (K_2O , Na_2O , MgO , CaO). Показано, что уменьшение содержания карбонатов магния, целлюлозы и т.п., а также алюмосиликатов калия и натрия (жидкое стекло, слюда, полевой шпат и т.д.) способствует указанному результату. Полученные результаты были реализованы при создании электродов для сварки ВПНЛ сталей, при разработке которых, с целью повышения устойчивости сварных соединений против хрупкого разрушения, проведен комплекс физико-химических исследований процессов дегидратации щелочных силикатов и предложен оптимальный состав комплексного связующего электродных покрытий, обеспечивающий минимальное содержание водорода в наплавленном металле и высокую стойкость покрытия против адсорбции атмосферной влаги.

Изучено влияние состава жидкого стекла (связующего) и зернового состава компонентов электродного покрытия на его разнотолщинность. С целью повышения уровня сварочно-технологических свойств отечественных электродов разработан комплекс технологических мероприятий по надежному обеспечению низкого уровня разнотолщинности электродного покрытия как за счет оптимизации характеристик и состава жидкого стекла, зернового состава наполнителей покрытия, так и оптимизации конструктивных и технологических аспектов изготовления электродов.

Результаты исследований, выполненных на основе идей академика И. К. Походни в течение последних пяти лет авторским коллективом, реализованы при создании серии низкотоксичных электродов АНО-12, АНО-13, АНО-21, АНО-36, АНО-37, АНО-39, электродов типа Е696 М по ГОСТ 18275: 2008 для сварки тяжело нагруженных конструкций из низколегированных высокопрочных сталей, не имеющих отечественных аналогов и находящихся на уровне лучших зарубежных аналогов.