



ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины.
С. Г. Войнарович (ИЭС им. Е. О. Патона) 25 июня 2008 г.



защитил кандидатскую диссертацию на тему «Разработка технологии микроплазменного напыления биокерамического покрытия».

Диссертация посвящена разработке технологии микроплазменного напыления покрытия из гидроксиапатита (ГА) на детали эндопротезов с обеспечением требуемого фазового состава и структуры.

Экспериментальным путем установлен диапазон параметров работы плазмотрона с выносным анодом мощностью 1...2 кВт для условий напыления покрытий, определены его вольт-амперные характеристики. Установлено, что ВАХ микроплазмотрона МП-004 имеют линейный вид и являются восходящими, напряжение дуги в условиях микроплазменного напыления с использованием в качестве плазмообразующего газа чистого аргона составляет 22...32 В. Исследование влияния расхода плазмообразующего газа на режим истечения микроплазменной струи показало, что в диапазоне токов 30...45 А наблюдается устойчивое ламинарное истечение плазменной струи, которое сохраняется при расходе плазмообразующего газа 40...120 л/ч. При этом длина микроплазменной струи составляет 100...150 мм.

С использованием метода проточного калориметрирования определено влияние технологических параметров (силы тока, расхода плазмообразующего газа) на КПД плазмотрона, энтальпию и температуру аргоновой плазмы. Установлено, что КПД микроплазмотрона возрастает при увеличении расхода плазмообразующего газа и достигает 55 %. Показано, что в рабочем диапазоне параметров напыления энтальпия составляет 11000...32000 Дж/л, что соответствует среднemasсовой начальной температуре аргоновой струи 10000...13500 К.

Исследование фигуры металлизации и пятна напыления для условий микроплазменного напыления ГА покрытий показало, что фигура металлизации имеет профиль, с высокой точностью описываемый распределением Гаусса (коэффициент корреляции 0,933...0,996), а пятно напыления имеет форму эллипса с соотношением осей 1,1...1,3 и размером 8...15 мм в зависимости от параметров процесса напыления. Проведенные расчеты потерь напыляемого материала показали, что суммарные потери материала при микроплазменном напылении на имплантаты с поперечным размером 8...10 мм составляют 20...40 %, что ниже, чем при традиционном плазменном напылении в 2...4 раза.

Исследование влияния основных параметров процесса микроплазменного напыления (сила тока, расход плазмообразующего газа, дистанция напыления, расход порошка) на морфологию и структурно-фазовые превращения в покрытиях из ГА показали, что путем изменения этих параметров, ведущих к изменению условий нагрева и движения частиц напыляемого материала, возможно управление фазовым составом покрытий из ГА в пределах управления кристаллической фазы ГА 88...98 %, степени аморфности от 0 до 7 %, содержания трикальцийфосфата от 0 до 6 % и формирования за счет этого ГА покрытия с заданным фазовым составом. Впервые установлено, что в условиях микроплазменного напыления возможно в покрытиях из ГА формирование текстуры (с коэффициентом 0,48...0,74). Рассчитаны линейные регрессионные модели, показывающие степень влияния каждого параметра на формирование комплекса характеристик ГА покрытий.

Установлено, что фазовый состав покрытий из ГА, а также характеристика текстуры изменяются по толщине слоя в направлении от поверхности покрытия к границе раздела с основой.

Определена прочность сцепления покрытий с основой в зависимости от наличия подслоя и его материала. При напылении покрытий из ГА с использованием в качестве подслоя покрытия из титана прочность сцепления составила $24,17 \pm 0,85$ МПа.

Полученные результаты использованы при разработке технологических рекомендаций по нанесению покрытий из ГА на эндопротезы. Разработанная технология применена для нанесения покрытий из ГА на имплантаты для межтелового спондиллодеза и эндопротезы тазобедренного сустава. Получены положительные результаты клинических испытаний.

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины.
А. В. Игнатенко (ИЭС им. Е. О. Патона) 2 июля 2008 г.



защитил кандидатскую диссертацию на тему «Механизм зарождения индуцированных водородом трещин в сварных соединениях высокопрочных низколегированных сталей».

Для решения поставленных в работе задач проведены теоретические исследования и численное моделирование процессов, которые происходят в зерне металла с ОЦК решеткой при зарождении и развитии субмикротрещины.

Предложена математическая модель переноса водорода движущимися краевыми дислокациями. Исследовано влияние температуры металла, скорости движения краевых дислокаций и концентрации диффузионного водорода на количество переносимого водорода дислокациями к месту образования субмикротрещины. Установлено, что с увеличением скорости движения краевой дислокации или при снижении концентрации диффузионного водорода количество переносимого водорода уменьшается, а максимум кривой $N(T)$ сдвигается в область более высоких температур.

Усовершенствована модель Зинера–Стро образования субмикротрещины по дислокационному механизму. Численными методами исследована температурно-скоростная зависимость степени падения хрупкой прочности металла $\delta(T)$, расчеты сопоставлены с экспериментом. Обнаружено, что зависимость $\delta(T)$ имеет минимум в области комнатной температуры, падение прочности металла под действием водорода может достигать 50 % прочности металла без водорода. Расчеты показали, что при одной и той же температуре с увеличением скорости относительной пластической деформации, значение $\delta(T)$ увеличивается, а минимум кривой $\delta(T)$ сдвигается в область более высоких температур. В результате численного моделирования установлено, что температурно-скоростные особенности влияния водорода на прочность изделий из ВПНЛ сталей объясняются зависимостью между температурой металла, скоростью пластической деформации и количеством водорода, которое переносят дислокации к месту зарождения микродефекта. Показано, что уменьшение концентрации диффузионного водорода ведет к увеличению значения $\delta(T)$.

Разработана расчетно-экспериментальная методика определения параметров энергетических ловушек водорода в ме-



талле шва таких, как энергия взаимодействия водород-ловушка и плотность ловушек. Проанализировано влияние параметров энергетических ловушек на кинетику массопереноса водорода в металле и его перераспределение в сварном

соединении. Даны рекомендации по предотвращению на микроуровне зарождения в сварном соединении индуцированных водородом холодных трещин.

ИЗОБРЕТЕНИЯ СТРАН МИРА*

Способ сварки трением деталей из стали и алюминидов. Предложен способ соединения первой детали из алюминидов или тугоплавкого сплава никеля со второй деталью из стали, алюминидов или тугоплавкого сплава титана сваркой трением, причем между первой и второй деталью в зону соединения вводят промежуточный элемент из сплава никеля и затем осуществляют сварочный процесс, во время которого из промежуточного элемента образуют связующий слой, который с обеих сторон прочно соединяется с первой и второй деталями. Патент Германии 1020050/5947133. Н. Baur, Н. Gas-thuber, Р. Fledersbacher, М. Scheydecker (Daimlerchrysler Ag).

Экономнолегированный электрод для сварки хладостойких низколегированных сталей. Изобретение может быть использовано для сварки без предварительного подогрева конструкций из хладостойких низколегированных сталей с пределом текучести от 235 до 390 МПа, работающих при температурах до -60 °С. Электрод состоит из низколегированного стержня с нанесенным на него покрытием, содержащим следующие компоненты, мас. %: 34...52 мрамора, 9...25 плавикового шпата, 6...15 кварцевого песка, 3...15 диоксида титана, 3...15 ферросилиция, 3...15 ферромарганца, до 5 сурика железного, 23...28 жидкого стекла натриевого (к массе сухой смеси). Электрод обладает хорошими сварочно-технологическими характеристиками, обеспечивает снижение склонности металла шва к пористости и его высокие механические характеристики. Патент России 2302327. В. А. Малышевский, А. В. Баранов, В. П. Леонов и др. (ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей»).

Способ сварки трением вращающимся инструментом с подогревом соединяемых заготовок дугой сварочной горелки. Горелку дуговой сварки в среде защитного газа перемещают вдоль стыка между соединяемыми заготовками, нагревая свариваемые кромки. За горелкой следует головка машины сварки трением вращающимся инструментом, который сваривает нагретые кромки заготовок. Патент США 7078647. S. Kou, G. Cao (Wisconsin Alumni Research Foundation).

Способ дешевой сварки титана. Сварку титана проводят по технологии дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитного газа. При этом используют только защитный газ, подаваемый в горелку. Предлагаемая технология отходит от технических требований сварки титана, которые предусматривают дополнительную внешнюю защиту зоны сварки инертным газом. Патент США 7075033. Т. D. Erichsen, Т. J. Dorsch (Bae Systems Land).

Припой для твердой пайки. Припой содержит 80 % золота, до 42 % серебра, а также 1...36 % легирующих элементов, в число которых входят медь, алюминий, висмут, галлий, германий, индий, сурьма, кремний, олово, свинец, теллур и таллий. Припой, который может использоваться для пайки украшений из нержавеющей стали, имеет низкую температуру плавления, не вызывающую укрупнения зерна в металле паяемых деталей, и обладает удовлетворительной коррозион-

ной стойкостью и прочностью. Патент США 7074350. Н. Uchida, J. Satou (Citizen Watch Co., Ltd.).

Способ ремонта лопатки турбины высокого давления. Рабочая лопатка турбины имеет подложку, выполненную из жаропрочного сплава на основе никеля, и систему термозащитного покрытия, нанесенную на подложку. Система термозащитного покрытия содержит покрывной слой, нанесенный на подложку методом диффузионного напыления, и верхний покрывной керамический термозащитный слой, выполненный из циркония с добавкой иттрия и имеющий номинальную толщину t . При выполнении ремонта лопатки всю систему термозащитного покрытия удаляют совместно с частью материала подложки и определяют толщину удаленного материала подложки Δt . Затем на подложку наносят методом диффузионного напыления ремонтное покрытие с толщиной, равной толщине покрытия новой лопатки, и наносят покрывной керамический ремонтный слой с толщиной $t + \Delta t$. Патент США 7078073. J. D. Rigney, C.-P. Lee, R. Darolia (General Electric Company).

Способ фрикционной сварки и применяемый для этого инструмент. Применительно к предложенному способу сварки было установлено, что при использовании инструмента трения на качество сварки влияют два фактора, а именно: динамическое истечение материала в месте образования сварного шва (что влияет, главным образом, на поток материала и достижение стабильного режима процесса сварки, на нагрев продукта посредством пластической мощности и, следовательно, на микроструктуру продукта) и характер теплового развития в зоне сварки (что оказывает воздействие на механизмы осаждения и кристаллизации в продукте). Для упрощения операций сварки с помощью фрикционного инструмента разработана аналитическая модель, выражающая свойства сварного соединения в зависимости от параметров сварочной операции, в частности, геометрических параметров инструмента и его кинематических параметров. Показано, что такая модель позволяет выбрать упрощенные условия, обеспечивающие оптимальную сварку. Патент Франции 2881067. A. Delphine (Eads Societe Par Actions Simplifiee).

Способ сварки толстых плит по технологии многослойной сварки закрытой дугой. Сварку выполняют таким образом, что металл, заплавливающий разделку между толстыми плитами во время второго прохода, не входит в контакт со стенками разделки, а находится внутри предыдущего слоя. Сварку производят с большим подводом тепла. Способ позволяет предотвратить образование горячих трещин, недостаточное проплавление внутренних участков разделки и снижение прочности сварного соединения. Патент Японии 3801186. N. Hayakawa, M. Tokuhisa (Ife Steel Kk).

Сварная труба с повышенным сопротивлением коррозии металла сварного шва и способ изготовления трубы. Трубу изготавливают путем контактной сварки свернутой в трубную заготовку горячекатаной стальной полосы, содержащей $\leq 0,01$ % S и $\leq 0,01$ % Cu, с последующим охлаждением зоны теплового воздействия со скоростью 100 °С/с с 1000 до 700 °С. Способ позволяет снизить производственные затраты за счет исключения операции термообработки после сварки.

* Приведены сведения о патентах, опубликованных в реферативном журнале «Изобретения стран мира», № 7 за 2007 г.