

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ И СВАРКИ СЕКЦИИ КРЫШИ ВАГОНА 11-287

Канунников Д.Н. – студент, Шевцов Ю.О. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Развитая транспортная сеть всегда была одним из условий успешной народнохозяйственной деятельности страны. Железнодорожный транспорт является ведущей отраслью в организации транспортной системы России в силу ряда его особенностей: низкой себестоимости перевозки грузов, большой грузоподъемности железнодорожного транспорта и относительно высоких скоростей перемещения грузов.

Предприятие ОАО «Алтайвагон» каждый год обновляет парк выпускаемых вагонов для удовлетворения потребностей народного хозяйства, в том числе выпускает крытые вагоны модели 11 – 287, предназначенные для перевозки легковых автомобилей по магистральным железным дорогам колеи 1520 мм. Транспортируемые автомобили располагаются в два яруса. Вагон оснащен специальными устройствами, которые обеспечивают блокировку автомобилей во время транспортировки, а также благодаря особенностям конструкции удобен в эксплуатации и не требует больших трудозатрат при загрузке вагона.

В конструкции вагона данной модели продолжением второго яруса является крыша вагона, которая состоит из трех секций. Конструкция секции крыши представляет собой каркас, состоящий из дуг, двух обвязок и стрингеров. Дуги представляют собой три балки (профиль вагонной стойки, ГОСТ 5267.6-90), сваренных между собой. По углам дуг привариваются заделки. Обвязка представляет собой гнутый лист (ГОСТ 19903 - 74). Стрингеры привариваются между дугами. В конструкцию также входит настил 1440x980x1.5 мм, 1290x980x1.5 мм, изготовленный из низколегированной стали 10ХНДП.

При разработке конструкции секции крыши был выбран метод дуговой сварки в среде защитных газов. В качестве защитного газа используют углекислый газ. Особенностью сварки в углекислом газе является то, что при температурах дуговой сварки углекислый газ CO_2 диссоциирует и окисляет металл.

Для нейтрализации окислительного действия CO_2 в сварочную проволоку Св-08Г2С (ГОСТ 2246 - 70), предназначенную для сварки в углекислом газе, вводят несколько больше марганца и кремния (раскислители), которые, соединяясь при сварке с кислородом, восстанавливают свариваемый металл. Образующиеся при этом окислы марганца и кремния переходят в шлак. Во время сварки в среде защитных газов происходит разбрызгивание металла в пределах 10-12 %, это требует большего расхода газа, расхода электродной проволоки, вследствие этого происходит перерасход электрической энергии, что отрицательно влияет на себестоимость конструкции. Вследствие повышенного расхода электродной проволоки основное время сварочной операции увеличивается, что приводит к повышению трудоемкости.

В заводской технологии процесс сборки дуг осуществляется на неспециализированном стенде с большим использованием ручных зажимных устройств, что обуславливает большой объем сборочных и подгоночных работ и высокую трудоемкость. Настил устанавливается вручную при сборке секции крыши. Оборудование имеет низкий к.п.д.

С нашей точки зрения заводской технологический процесс может быть усовершенствован за счет:

- применения современного оборудования как подающего механизма, так и источника питания, обеспечивающего снижение разбрызгивания металла.
- применения тонких электродных проволок с повышенным содержанием циркония Св-09Г2СЦ для меньшего разбрызгивания.
- использования автоматической сварки вместо полуавтоматической.
- снижения расхода электрической энергии и металла за счет снижения разбрызгивания и за счет применения источника питания с высоким коэффициентом полезного действия 91-93 %.

- снижения расхода углекислого газа за счет снижения разбрызгивания.
- снижения трудоемкости за счет механизации сборочных работ.

Для сварки конструкции секции крыши в качестве сварочного оборудования используется сварочный выпрямитель ВС – 600, у которого коэффициент полезного действия составляет 70 % и полуавтомат устаревшей модели А 1197, что приводит к большому разбрызгиванию металла.

Вследствие вышеизложенного нами был выбран инверторный источник питания марки «Форсаж». Эта установка предназначена для сварки низкоуглеродистых, низколегированных и коррозионно-стойких сталей. Она имеет плавную регулировку сварочного тока, снабжена вентилятором и защитой от перегрева. Диапазон сварочного тока от 40 до 315 А, масса 6,7-12,5 кг, коэффициент полезного действия составляет 91 – 92 %. Применение данного источника питания позволяет в сочетании с проволокой снизить разбрызгивание металла до 4 %, соответственно уменьшить ресурсоемкость (трудоемкость, энергоемкость, материалоемкость) сварочных операций и себестоимость изготовления секции крыши вагона.

В дипломном проекте нами проработан вариант новой технологии сборки и сварки секции крыши вагона модели 11-287. Разработанная технология изготовления секции крыши на поточно-механизированной линии, позволила снизить трудоемкость сборочно-сварочных операций, механизировать и автоматизировать транспортные операции.

Внедрение данной технологии позволило:

- снизить себестоимость на 0,99 %;
- увеличить рентабельность в 1,01 раза;
- экономический эффект составил 128432.57 руб./год.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ И СВАРКИ СТЕНЫ ВЕСОПОВЕРОЧНОГО ВАГОНА СЕРИИ А-300

Сибиряков С.В. – студент, Шевцов Ю.О. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Вагоностроение является одной из ведущих отраслей промышленности. Это связано с выпуском большого количества вагонов различных серий и их модификаций.

Весопроверочный вагон служит для проверки контрольных весов на станциях и относится к типу специализированных.

На ОАО «Алтайвагон» производится штучное изготовление вагонов серии А-300. Это условие создает препятствие для механизации и автоматизации операций сборки и сварки. Вследствие его на данном предприятии применяется ручное или частично механизированное оборудование для сборки, сварка производится полуавтоматом в среде углекислого газа. Перечисленные факторы указывают на высокую трудоемкость изготовления вагонов данной серии.

Для повышения производительности труда и снижения трудоемкости изготовления стены предлагается:

- все узлы и элементы изделия собирать и сваривать в специализированных кондукторах и стендах;
- для поворота узлов стены в удобное для сварки положение использовать кантователи;
- для наиболее протяженных швов использовать автоматическую сварку в среде углекислого газа;
- для уменьшения потерь на разбрызгивание при сварке вместо проволоки Св-08Г2С применить проволоку Св-08Г2СЦ, у которой потери на разбрызгивание на 6% меньше.

На базовом предприятии для сварки стены боковой применяют следующее оборудование:

- для сварки обвязки применяется полуавтомат А-547у с выпрямителем ВС-300;
- для сварки стоек применяется полуавтомат А-1197 с выпрямителем ВС-600;

-для сварки стены боковой применяется автомат АДФ-1002 и полуавтомат
-для сварки стены боковой применяется автомат АДФ-1002 и полуавтомат А-1711 с выпрямителями ВС-600

Исходя из анализа базового техпроцесса и исходных данных, выбираем следующее сварочное оборудование:

-для сварки обвязки автомат А-1711 с выпрямителей ВС-600;

-для сварки стоек полуавтомат А-765 с выпрямителем ВДУ-504; -для сварки стены боковой автомат АДСП-1 и полуавтомат А-755 с выпрямителями ВДУ-504.

Применение сварочной проволоки Св-0.8Г2СЦ, позволило уменьшить разбрызгивание на 6% чем у применяемой на ОАО «Алтайвагон».

Заменили полуавтоматическую сварку в среде углекислого газа на автоматическую на участках имеющих большую протяжённость сварных швов. Для увеличения производительности труда применили специально разработанное оборудование, так же уменьшили количество ОНР. Все эти операции позволили снизить трудоёмкость на 38,3%, уменьшить себестоимость на 13,4%. Экономический эффект от внедрения составил 380005,4рубля.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ДВЕРЕЙ ВЕСОПОВЕРОЧНОГО ВАГОНА СЕРИИ А-300

Шевченко С.А. – студент, Шевцов Ю.О. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Вагоностроение на сегодняшний момент является одной из ведущих отраслей промышленности страны. Это связано с выпуском большого количества вагонов различных серий и их модификаций. В связи с этим одними из приоритетных направлений являются техническое переоснащение производственных мощностей, внедрение высокопроизводительных гидроконтролируемых станков, создание высокоэффективного вагоносборочного производства, создание комплексной автоматизации технической подготовки производства. Данная работа посвящена разработке технологии изготовления дверей весоповерочного вагона.

Весоповерочный вагон служит для сверки грузов на весах и относится к типу специализированных.

На базовом предприятии ОАО «Алтайвагон» выпускаются цельнометаллические весоповерочные вагоны серии А-300, которые служат для сверки грузов на весах. Конструкция вагона требует свободный, неограниченный доступ во внутреннее пространство вагона для самозагрузки и выгрузки грузов, что и обеспечивают двери.

Рассматриваемое изделие - двери весоповерочного вагона представляют собой плоскую конструкцию, состоящую из листовых заготовок и сортового проката.

Каждая из дверей состоит из створки, выполненной из листового проката, общую жесткость которой обеспечивает каркас, выполненный из угольников и дуги плоского сечения. Местную жесткость каркаса обеспечивают ребра, установленные в пролетах между элементами каркаса, выполненные из листового проката. В состав элементов каркаса также входит группа запоров, которые обеспечивают фиксацию дверей в запертом положении. Петли являются звеньями шарнирного механизма, который обеспечивает поворот двери относительно вертикальной оси.

Используемая конструкция дверей весоповерочного вагона позволяет обеспечить жесткость, гарантирующую исключение коробления двери.

Конструкция изготавливается из стали марки ВСтЗпс. Эта сталь относится к углеродистым конструкционным сталям обыкновенного качества. Стали группы В являются сталями повышенного качества и поставляются с гарантированными химическими и механическими свойствами. Прокат изготавливают из стали с химическим составом,

соответствующим ГОСТ 380-94.

Базовое предприятие производит штучное изготовление вагонов серии А-300, что предусматривает техпроцесс. Это условие создает препятствие для механизации и автоматизации операций сборки и сварки. На основании чего на предприятие применяется ручное или частично механизированное оборудование для сборки, сварка производится полуавтоматом в среде CO_2 . Все перечисленные факторы указывают на низкую производительность, обусловленную проведением большого объема вспомогательных работ.

При сварке плавящимся электродом в защитном газе в зону дуги, горящей между плавящимся электродом (сварочной проволокой) и изделием через сопло подается защитный газ, защищающий металл сварочной ванны, капли электродного металла и закристаллизовавшийся металл от воздействия активных газов атмосферы. Теплотой дуги расплавляются кромки свариваемого изделия и электродная (сварочная) проволока. Расплавленный металл сварочной ванны, кристаллизуясь, образует сварной шов.

В качестве электродного металла применяют сварочную проволоку близкую по химическому составу к основному металлу. Выбор защитного газа определяется его инертностью к свариваемому металлу, либо активностью, способствующей рафинации металла сварочной ванны.

Для сварки сталей различных классов применяют углекислый газ, но так как углекислый газ участвует в металлургических процессах, способствуя угару легирующих компонентов и компонентов - раскислителей (кремния, марганца), то сварочную проволоку следует выбрать с повышенным их содержанием.

Сварку в защитных газах плавящимся электродом ведут на постоянном токе обратной полярности, т.к. на переменном токе из-за сильного охлаждения столба дуги защитным газом, дуга может прерываться. Скорость подачи сварочной проволоки определяет силу сварочного тока.

Для сварки в защитных газах плавящимся электродом характерен высокий процент потерь электродного металла вследствие угара и разбрызгивания.

В качестве защитных газов при сварке неплавящимся электродом широко применяют смеси газов с различными соотношениями концентраций. Использование таких смесей повышает не только качество получаемых сварных соединений, но и производительность процесса сварки.

В связи с этим в данной работе предлагаются следующие мероприятия:

1. Использовать защитный газ, состоящий из смеси газов (95%) CO_2 и (5%) O_2 , что сократит потери на разбрызгивание на 5 %.

2. Большая протяженность, доступность и прямолинейность соединений в конструкции позволяет применить автоматическую сварку в среде защитных газов. Поэтому для наиболее протяженных типов сварных соединений вместо полуавтоматической сварки в среде CO_2 применить автоматическую сварку в среде защитного газа.

3. Все узлы и элементы изделия собирать и сваривать в специализированных кондукторах и стендах;

4. Вместо сварочного выпрямителя ВС-600 применяемого на базовом предприятии, использовать инверторный источник питания Kemromig 3200.

Все вышеперечисленные мероприятия, применение нового сварочного оборудования и защитного газа позволили:

1. Уменьшить потери на разбрызгивание;

2. Снизить трудоемкость изготовления изделия на 55 %;

3. Снизить себестоимость изделия на 16,8 %;

4. Экономический эффект от внедрения составит 5535773,6 руб./год.

ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГЕОМЕМБРАН В СТАНДАРТАХ США

Мандров Б.И. – к.т.н., доцент, Бакланов Д.И. – магистрант, Бакланов С.И. – студент
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)
Влеско С.А. – инженер, Путивский С.А. – директор
ООО «ТехПолмер» (г. Красноярск)

При строительстве гидротехнических объектов, полигонов твердых бытовых отходов, автомобильных дорог, аэродромов, укреплении откосов каналов, насыпей железнодорожного полотна и т.п. остро стоит проблема предотвращения фильтрации жидкостей. Для решения этой проблемы в настоящее время широко используются геосинтетические материалы, в частности, из полиэтилена, полипропилена, поливинилхлорида.

В большинстве случаев размеры пленки/листов значительно меньше размеров строящегося объекта, поэтому исходные материалы соединяют в основном сваркой в защитный экран, получивший название геомембраны. К сварным швам предъявляются требования, как прочности, так и плотности. В российской инженерной практике для оценки прочности сварных соединений используется ГОСТ 16971-71. Образцы для испытаний на растяжение из листов толщиной от 1 мм и выше изготавливают по ГОСТ 11262-80. Аналогичные образцы из пленок толщиной менее 1 мм изготавливают по ГОСТ 14236-81. Оценка плотности производится по пояснительным запискам проектов с недостаточно полно проработанными рекомендациями. Это порождает проблемы в оценке качества сварных соединений строящихся объектов.

В мировой практике для оценки качества вышеуказанных объектов используются международные стандарты, например, ISO 527-1 2012 «Пластмассы. Определение механических свойств при растяжении. Часть 1. Общие принципы» и стандарты стран, наиболее продвинутых в этом направлении. К числу таких стандартов, в первую очередь, могут быть отнесены стандарты США группы ASTM - стандарты американского общества испытания материалов. На сегодняшний день это наиболее разработанная система оценки качества геосинтетических материалов. Рассмотрим ту часть стандартов ASTM, которая относится к оценке прочности как материала геомембран, так и швов сварных соединений.

В системе стандартов ASTM оценка свойств пластмасс при растяжении образцов толщиной от 1 до 14 мм производится по ASTM D 638-08. В этом стандарте приводятся следующие сведения об образцах I, II, III, IV, V типов:

- размеры,
- допуски на размеры,
- методы изготовления,
- скорость испытания,
- количество образцов выбранного типа (не менее пяти образцов),
- кондиционирование (температура и время).

Кроме того, в стандарте приводятся сведения о методе испытания, вычисляемых показателях и обработке результатов испытаний. Следует отметить, что в стандарте указано на возможность выбора прочностных показателей, однако это требует согласования между заинтересованными сторонами выбираемых показателей и более четкого определения в отчетах какие показатели определялись.

К основными показателям вышеуказанного стандарта могут быть отнесены:

- предел прочности и удлинение при разрыве,
- предел прочности на разрыв при текучести и удлинение при текучести (применяется, если разрыв происходит не при максимальной нагрузке),
- растягивающее напряжение при разрыве и удлинение при разрыве (применяется, если разрыв происходит не при максимальной нагрузке),
- растягивающее напряжение при текучести и удлинение при текучести (применяется, если разрыв происходит при максимальной нагрузке).

В целом, термины близки к терминам российским вышеуказанных стандартов.

При обработке результатов испытаний каждой серии используются показатели среднего арифметического значения и среднеквадратичного отклонения с точностью до двух значащих цифр.

Для неусиленных полиэтиленовых и полипропиленовых геомембран толщиной от 0,25 до 6,3 мм рекомендуется использовать стандарт ASTM D6693 – 04 (ред. 2010 г.). В этом стандарте отсутствуют требования к влажности помещения при проведении испытаний и времени кондиционирования образцов. Кроме того, изменена (по сравнению с ASTM D 638-08) температура в помещении при проведении испытаний до 21 ± 2 °С, а также конкретизирована скорость испытаний 50 мм/мин для полиэтилена (500 мм/мин для полипропилена) и указан конкретный тип образцов (IV) для проведения испытаний на растяжение.

Самые значительные изменения (по сравнению с ASTM D 638-08) введены для показателей предела текучести и предела прочности при растяжении. При расчетах этих показателей используется не площадь образца, как обычно принято, а минимальная ширина образца в пределах расчетной длины при этом прочность выражается в Н/мм. Кроме того, в стандарте учтено, что при испытаниях на растяжение образцы могут не достигать разрыва (не хватает хода разрывной машины). Относительное удлинение при этом рекомендуется сопровождать указанием, что оно больше последнего значения перед остановкой машины.

Разрушающий контроль сварных швов геомембран производится по ASTM D 6392 – 08. Поэтому документу можно производить испытания на растяжение сварных соединений геомембран из полиэтилена различных типов, поливинилхлорида и полипропилена. Для оценки прочности рекомендуется два метода испытания испытание на сдвиг (срез) и испытание на отрыв (отдир). Схемы вырезки образцов из сварного соединения и проведения нагружения приведены на рисунке 1. Как показано на схеме вырезки образцов из одного сварного соединения вырубается по 5 образцов на сдвиг и отрыв. При этом производят чередование образцов указанных типов.

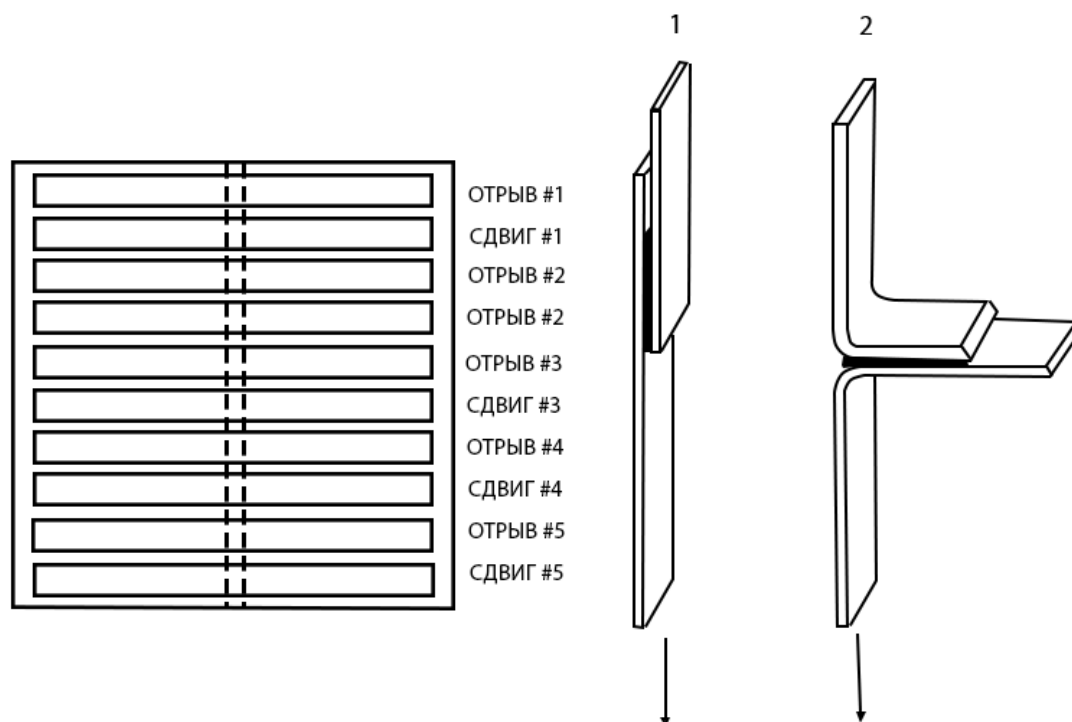


Рисунок 1- Схемы вырезки и нагружения образцов

Испытания проводятся на образцах длиной не менее 150 мм и шириной 25 мм при скорости испытания 50 мм/мин для полиэтилена высокой и средней плотности, а также поливинилхлорида. Сварные соединения из остальных материалов испытывают при

скорости испытания 500 мм/мин. Образцы доводят до разрушения, определяя при этом их удлинение и разрушающую нагрузку. Количественная оценка вышеуказанных показателей приводится не в стандарте, а в технических условиях Научно-исследовательского института геосинтетических материалов GRI GM19.

Дополнительно образцы подвергают визуальному осмотру и устанавливают код разрушения. Сами коды разрушения приводятся в стандарте. Примеры кодов приведены на рисунках 2 и 3. Наличие таких кодов в значительной мере облегчает оценку качества сварных соединений. В тоже время следует отметить, что даже в этих стандартах имеется ряд расхождений как в методиках проведения испытаний, так и в оценке их результатов.







Тип разрушения	Код разрушения
	AD
	BRK
	SE1
	SE2
	AD-BRK
	SIP

Рисунок 2 – Характер и место разрушения образцов, после сварки нагретым клином: AD - отсутствие прочностных связей; BRK -разрыв пленки. Разрушение может быть либо верхнего, либо нижнего листа; SE1 - разрыв у внешнего края шва. Разрушение может быть либо верхнего, либо нижнего листа; SE2 - разрыв у внутреннего края шва. Разрушение может быть либо верхнего, либо нижнего листа; AD-BRK - разрыв первого шва. Разрыв может быть в любом листе – верхнем или нижнем; SIP - расслоение в плоскости листа. Разрушение может быть либо верхнего, либо нижнего листа












Тип разрушения	Код разрушения
	AD1
	AD2
	AD-WLD
	SE1
	SE2
	SE3
	BRK1
	BRK2
	AD-BRK
	HT
	SIP

Рисунок 3 – Характер и место разрушения образцов, после экструзионной сварки: AD1- отсутствует адгезия. Образцы могут расслаиваться под валиком и разрушаться через тонкий слой экструдированного материала в наружной области; AD2 - отсутствует сплавление; AD-WLD - разрушение через валик; SE1 - разрушение у края шва нижнего листа (возникает только при срезе); SE2 - разрушение у края шва верхнего листа (возникает только при срезе); SE3 - разрушение у края шва верхнего листа (возникает только при отрыве); BRK1 - разрушение нижнего листа; BRK2 - разрушение верхнего листа; AD-BRK - разрушение нижнего листа в результате отсутствия адгезии между валиком и нижним листом; HT - разрушение на краю листа; SIP - расслоение в плоскости листа

Выводы:

1. Геосинтетические материалы играют важную роль при защите сооружений от фильтрации жидкостей.
2. Сварные соединения элементов геомембраны должны обладать плотностью и прочностью.

3. Стандарты, используемые для оценки прочности сварных соединений, имеют не соответствия, как в методиках проведения испытаний, так и в оценке полученных результатов.

4. Наиболее полно отвечает современным условиям изготовления геомембран системы стандартов ASTM и GRI, разработанные в США.

5. Для создания системы оценки качества сварных соединений геомембран в РФ необходимо учесть, как опыт зарубежных организаций, так и опыт отечественных стандартов и исследований.

Список литературы:

1. ASTM D 638-08 “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics”;
2. ASTM D 6392-08 “Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods”;
3. ASTM D 6693-04 “Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Nonreinforced Polyethylene and Nonreinforced Flexible Polypropylene Geomembranes”;
4. GRI Test Method GM19 “Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded Polyolefin Geomembranes”.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ДЕТОНАЦИОННЫХ БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОКРЫТИЙ

Попова А.А. – магистрант, Яковлев В.И. – к.т.н. доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Костная система живого организма формируется и поддерживается в результате сложных биохимических реакций. При потере или разрушения кости для ее замены применяют имплантаты. Имплантаты состоят, как правило, из металлических материалов на основе сплавов, нержавеющей стали или титана.

Применение имплантатов, когда физико-химические и механические свойства металлической основы и костной ткани существенно различаются, может приводить к активному отторжению имплантата. Для уменьшения отрицательного влияния этих факторов необходимо создать между костью и имплантатом переходную зону, которая наряду с прочной связью с поверхностью имплантата и костной тканью должна иметь приемлемую для организма макро и микроструктуру [1]. Такая зона может быть получена в виде покрытия с определенной пористостью и она может иметь композитное строение.

При создании биосовместимых покрытий особое внимание уделяется фазовому составу на поверхности имплантата. Идет поиск новых технологических решений создания поверхности на дентальных имплантатах, обеспечивающей надежную интеграцию имплантата в костной ткани, так как существующие технологии не удовлетворяют в полной мере современным медицинским требованиям. Наиболее перспективным решением этой проблемы является нанесение биоактивных кальций-фосфатных покрытий, приближающих создаваемые имплантаты к классу биомиметических материалов для костной ткани. Как уже отмечалось, на рост костной ткани при остеоинтеграции имплантатов существенное влияние оказывает фазовый состав покрытий. Из всех фосфатов кальция особое значение имеет гидроксиапатит кальция (ГА), поскольку он является основной минеральной фазой костной ткани [1].

Целью данной работы являлось исследование влияния размеров порошка гидроксиапатита на фазовый состав покрытий.

В качестве материала использован биологический порошок ГА различных фракций (1-10 мкм, 10-20 мкм, 50-300 мкм. Для формирования покрытий применялась установка детонационно-газового напыления порошковых материалов «Катунь-М» [2]. Напыление ГА производилось на пластины из титана марки ВТ-1.0 размером 20*20*3мм³. Перед

нанесением покрытий проводилась пескоструйная обработка титановой основы с использованием порошка окиси алюминия Al_2O_3 фракции 250-380 мкм, а затем химическое травление путем протравливания поверхности в кислотном травителе, нагретом до температуры кипения, на основе 30% раствора соляной кислоты и 60% раствора серной кислоты следующего состава: 0,1 HCl + 0,8 H₂SO₄ + 0,1 H₂O. Покрытие на поверхность титановой подложки наносилось с частотой выстрелов 4 Гц, количество выстрелов составляло 250-400. Для каждой размерной фракции использовали новую пластину.

Исследование фазового состава исходного порошка гидроксиапатита и покрытия было выполнено с помощью дифрактометра ДРОН-6 в излучении Cu. Рентгеновская съёмка осуществлялась с фокусировкой по Бреггу-Брентано. Для фазового анализа использовалась стандартная картотека ASTM.

На рис. 1 приведены рентгенограммы кальций фосфатных покрытий, нанесенных методом детонационно-газового напыления порошка гидроксиапатита для фракций 1-10 мкм (а) и фракций 10-20 мкм (б). Видно, что в покрытии помимо основной фазы гидроксиапатита также идентифицируются линии подложки титана, что указывает на его неоднородность.

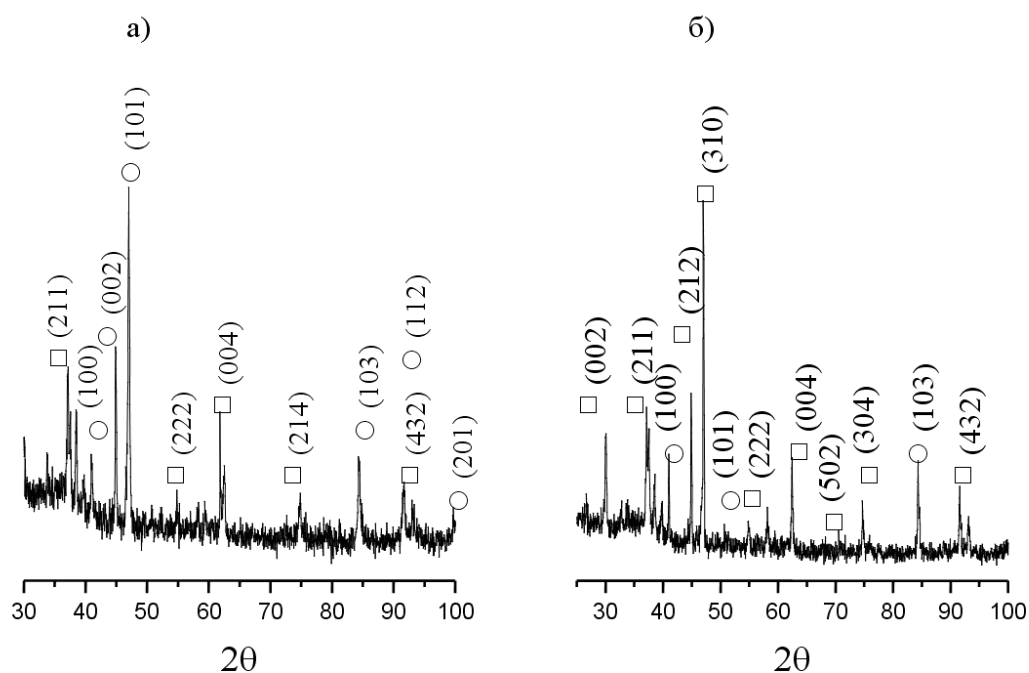


Рисунок 1 - Рентгенограммы покрытий, нанесенных методом детонационно-газового напыления порошка гидроксиапатита: а- фракция 1-10 мкм, б- фракция 10-20 мкм

На рис. 2 представлена рентгенограмма покрытия, нанесенного методом детонационно-газового напыления порошка гидроксиапатита для фракции 50-300 мкм. Видно, что в покрытии не выявлено других линий помимо основной фазы гидроксиапатита, что указывает на его однородность.

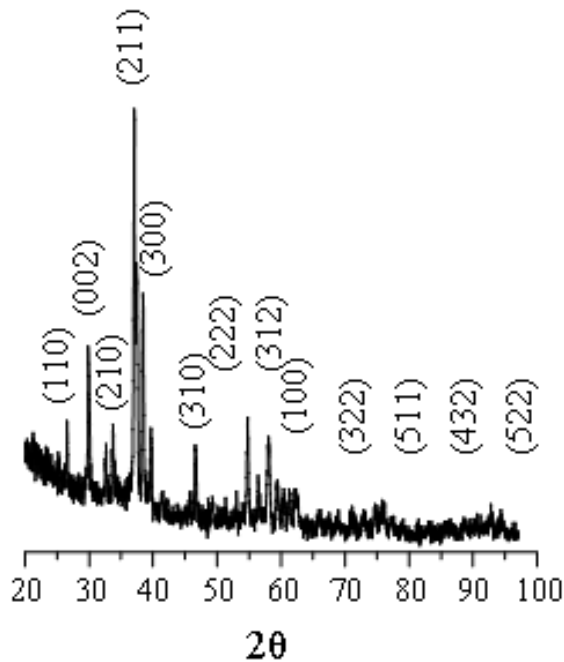


Рисунок 2 - Рентгенограмма покрытия, нанесенных методом детонационно-газового напыления порошка гидроксиапатита размером 50-300 мкм

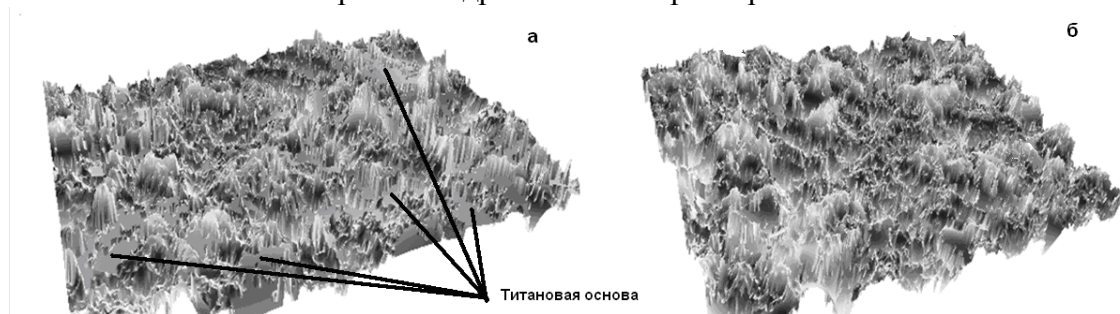


Рисунок 3 - 3D-изображения поверхности покрытия для размерных фракций:
а - 10-20 мкм; б - 50-300 мкм

Выводы

Рентгенофазовый анализ показал, что при напылении частиц в диапазоне 1 до 20 мкм покрытия формируются неоднородно, обнаруживаются участки с оголенной титановой подложкой. А при напылении частиц гидроксиапатита (размерной группы 50-300 мкм) формируются качественные покрытия однородного фазового состава.

Имеется возможность регулирования фазовым составом поверхности покрытия изменением исходного гранулометрического состава порошковых смесей гидроксиапатита кальция.

Полученные покрытия представляют интерес для использования в медицинской практике в качестве биопокрытий на титановых имплантатах.

Литература:

1. Белецкий Б.И. Биокпозиционные кальцийфосфатные материалы в костно-пластической хирургии [Текст]/ Белецкий Б.И., Шумский В.И., Никитин А.А., Власова Е.Б - Стекло и керамика. 2000, - №9, - с.35-37.

2. Яковлев, В.И. Экспериментально – диагностический комплекс для физических исследований порошковых СВС-материалов при детонационном напылении [Текст]: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Барнаул, АлтГТУ, 2003. – 19 с.

АТТЕСТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ СВАРКИ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Шакиров Е.В. – магистрант, Шевцов Ю.О. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Сварка занимает лидирующее положение среди технологических процессов изготовления металлоконструкций технических устройств опасных производственных объектов (ОТУ), подконтрольных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзору).

Существенное повышение качества изготовления ОТУ для обеспечения промышленной безопасности невозможно без внедрения системы сертификации (аттестации) сварочного производства.

Сварочные работы при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств на ОТУ должны производиться аттестованными (по требованиям ПБ-03-273-99 и РД 03-495-02) сварщиками и специалистами сварочного производства, аттестованными материалами (РД 03-613-03), оборудованием (РД 03-614-03) и с применением аттестованных технологий (РД 03-615-03).

Производственная аттестация технологий сварки и наплавки проводится с целью подтверждения того, что организация, занимающаяся изготовлением, монтажом, ремонтом и реконструкцией технических устройств, оборудования и сооружений, применяемых на опасных производственных объектах, обладает техническими, организационными возможностями и квалифицированными кадрами для производства сварки (наплавки), выполненные в условиях конкретного производства по аттестуемой технологии, обеспечивают соответствие требованиям к опасным производственным объектам общих и специальных технических регламентов, конструкторской (в части требований к сварке и контролю качества) и технологической документации.

Производственная аттестация делится на первичную, периодическую и внеочередную.

Согласно перечню групп ОТУ опасных производственных объектов группа «Котельное оборудование» (КО) включает в себя 5 пунктов:

1. Паровые котлы с давлением пара более 0,07МПа и водогрейные котлы с температурой воды выше 115⁰С.
2. Трубопроводы пара и горячей воды с рабочим давлением пара более 0,07МПа и температурой воды свыше 115⁰С.
3. Сосуды, работающие под давлением свыше 0,07 МПа.
4. Арматура и предохранительные устройства.
5. Металлические конструкции для котельного оборудования.

Для включения технологии в число аттестуемых, в системе электронного документооборота (ЭДО) на сайте Головного аттестационного центра (куда входит центр по аттестации технологий - АЦСТ) организацией-заявителем должна быть подана заявка. Руководитель с учетом поданной заявки готовит приказа о формировании аттестационной комиссии из числа членов с соответствующей областью аттестации. В случае необходимости в состав членов комиссии включаются представители организации-заявителя, но их количество не должно превышать количество членов комиссии от АЦСТ.

АЦСТ совместно с организацией-заявителем перед проведением производственной аттестации технологии сварки (наплавки) составляет программу аттестации. «Программа производственной аттестации технологии сварки (наплавки) подписывается членами аттестационной комиссии и утверждается руководителем АЦСТ.

При разработке Программы производственной аттестации технологии сварки (наплавки) должны быть учтены требования к производственной аттестации, изложенные в нормативных документах, утвержденных или согласованных в установленном порядке. В программе должны быть указаны:

- наименование и область применения аттестуемой технологии;
- основные технологические характеристики сварных соединений, выполняемых при

проведении аттестационных испытаний;

- методы неразрушающего контроля выполняемых сварных соединений и металла шва (наплавленного металла) методами разрушающего контроля;
- методики проведения контроля и испытаний;
- требования к количественным характеристикам показателей качества сварных соединений;
- другие данные, специфические для аттестуемой технологии;
- требования к результатам неразрушающих и разрушающих испытаний.

Производственная аттестация производится АЦСТ совместно с организацией-заявителем путем выполнения в производственных условиях контрольных сварных соединений и последующего контроля их неразрушающими и разрушающими методами. При периодической аттестации технологии сварки (наплавки) по решению комиссии могут быть использованы результаты контроля разрушающими методами производственных сварных соединений, выполненных в течение последних 6 месяцев перед проведением периодической аттестации.

Контрольные сварные соединения передаются в аттестованную лабораторию, которая должна составить заключения и протоколы о результатах контроля качества сварки.

По результатам производственной аттестации АЦСТ составляет мотивированное заключение о готовности организации-заявителя к использованию данной технологии. Заключение подписывается председателем и членами аттестационной комиссии. Заключение должно быть согласовано с руководителем организации-заявителя и утверждено руководителем АЦСТ, выполнявшего производственную аттестацию.

В заключении указывается, что на основании полученных положительных результатов контроля и испытаний аттестованная технология может быть допущена для выполнения сварных соединений (наплавки) на соответствующих опасных производственных объектах, и приводятся основные данные и требования, характеризующие указанную технологию, в том числе:

- наименование и область применения аттестованной технологии;
- марка (марки) материалов свариваемых (наплавляемых) деталей (с указанием стандартов или технических условий);
- способ сварки (наплавки);
- допускаемый диапазон толщин и диаметров свариваемых деталей;
- марка (сочетание марок) сварочных материалов с указанием стандартов или технических условий;
- допускаемые положения сварки (наплавки);
- необходимость и режимы предварительного и сопутствующего подогрева;
- рекомендуемые режимы сварки (наплавки);
- необходимость, вид и режимы термообработки сварных соединений и наплавки;
- показатели и количественные характеристики выполненных по аттестуемой технологии сварных соединений, металла шва и наплавленного металла (из числа предусмотренных программой испытаний).

Результаты производственной аттестации АЦСТ передает ЭДО в НАКС для экспертизы и оформления Свидетельства о готовности организации-заявителя к использованию аттестованной технологии сварки (наплавки) при изготовлении, монтаже и ремонте или реконструкции на опасных производственных объектах. В Свидетельстве указывается область распространения производственной аттестации, включающая перечень основных параметров, характеризующих однотипность сварных соединений.

Сведения об аттестованной технологии сварки (наплавки) в ЭДО вносятся в Реестр Системы аттестации сварочного производства.

Срок действия Свидетельства об аттестации технологии – четыре года.

**ВИЗУАЛЬНЫЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
ТРУБ НАРУЖНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**
Ледников Е.А. – ассистент, Киселев В.С.– к.т.н., Радченко М.В.– д.т.н., профессор
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Визуальный и измерительный контроль (ВИК) качества сварных соединений (СС) является наиболее простым и информативным методом контроля труб наружных газопроводов распределительных систем из углеродистых и низколегированных сталей. РД 03-606-03 дает определения основных терминов «визуальный контроль» - органолептический контроль, осуществляемый органами зрения, и «измерительный контроль» - контроль, осуществляемый с применением средств измерения.

Визуальный и измерительный контроль материалов(заготовок, деталей) и Сварных соединений

проводят на следующих стадиях:

- входного контроля;
- контроля подготовки труб к сборке под сварку;
- контроля сборки СС;
- контроля готового СС;

Объемы и нормы оценки качества СС по результатам ВИК приведена в СП 42-102-2004, ГОСТ 16037-80.

ВИК качества сварных соединений газопроводов выполняется специалистами лаборатории контроля качества, которая должна быть аттестована в соответствии с ПБ 03-372-00. Освещенность контролируемых поверхностей должна быть достаточной для достоверного выявления дефектов и в соответствии с требованиями ГОСТ 23479-79 составлять не менее 500 Лк. При этом подготовка контролируемых поверхностей в обязанности специалиста по контролю не входит.

Аттестованные специалисты ВИК, осуществляющие руководство работами по ВИК и непосредственно выполняющие ВИК, должны проходить аттестацию на знание правил, норм и инструкций по безопасному ведению работ на объектах, подконтрольных Ростехнадзору. Правом выдачи заключений по результатам ВИК обладают специалисты, имеющие II и III уровень квалификации.

При визуальном и измерительном контроле применяют:

- лупы, в том числе измерительные;
- линейки измерительные металлические;
- угольники поверочные 90° лекальные;
- штангенциркули;
- стенкомеры и толщиномеры индикаторные;
- шаблоны, в том числе специальные и универсальные (УШС-3);
- рулетки;
- образцы шероховатости поверхности.

Все приборы для ВИК должны иметь паспорта, техническое описание, руководство по эксплуатации, соответствующие инструкции и методики их применения, а также проходить поверку (калибровку) в метрологических службах, аккредитованных Госстандартом России.

В выполненном сварном соединении визуально контролируется:

- отсутствие (наличие) поверхностных трещин всех видов и направлений;
- отсутствие (наличие) на поверхности сварных соединений следующих дефектов: пор, включений, отслоений, прожогов, свищей, наплывов, усадочных раковин, подрезов, непроваров, брызг расплавленного металла, незаваренных кратеров;
- западания между валиками, грубой чешуйчатости, прижогов металла в местах касания сварочной дугой поверхности основного металла, а также отсутствие поверхностных дефектов в местах зачистки;

- наличие зачистки поверхности сварного соединения изделия (сварного шва и прилегающих участков основного металла) под последующий контроль неразрушающими методами;

- наличие маркировки шва и правильность ее выполнения.

Измерительный контроль сварного соединения осуществляется для проверки:

- размеров поверхностных дефектов (поры, включения и др.), выявленных при визуальном контроле;

- выпуклости (вогнутости) наружной и обратной стороны шва (в случае доступности обратной стороны шва для контроля) и ширину шва;

- высоты (глубины) углублений между валиками (западания межваликовые) и чешуйчатости поверхности шва;

- подрезов основного металла;

- непроваров, утяжин (в случае доступности).

Стыки, сваренные дуговой или газовой сваркой, по результатам внешнего осмотра должны соответствовать ГОСТ 16037 и удовлетворять следующим требованиям согласно СП 42-102-2004:

- швы и прилегающие к ним поверхности труб на расстоянии не менее 20 мм (по обе стороны шва) должны быть очищены от шлака, брызг расплавленного металла, окалины и других загрязнений;

- швы не должны иметь трещин, прожогов, незаваренных кратеров, выходящих на поверхность пор, а также подрезов глубиной более 5% толщины стенки труб (более 0,5 мм) и длиной более 1/3 периметра стыка (более 150 мм).

Результаты визуального и измерительного контроля готовых сварных соединений фиксируют в журнале и в заключении на ВИК, при обнаружении недопустимых дефектов оформляют отдельное заключение ВИК.

Литература

1. СНиП 42-01-2002 – Газораспределительные системы.
2. СП 42-101-2003 – Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб.
3. СП 42-102-2004 – Проектирование и строительство газопроводов из металлических труб.
4. ПБ 12-529-03 – Правила безопасности систем газораспределения и газопотребления.
5. ПБ 03-372-00 – Система неразрушающего контроля. Аттестация лабораторий.
6. ПБ 03-440-02 – Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля.
7. РД 03-606-03 – Инструкция по визуальному и измерительному контролю.
8. ГОСТ 10705-80 – Трубы стальные электросварные прямошовные. Технические условия.
9. ГОСТ 16037-80 – Соединения сварные стальных трубопроводов.
10. ГОСТ 23479-79 – Контроль неразрушающий. Методы оптического вида. Общие требования.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВЕРХЗВУКОВОЙ ГАЗОПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ

Щёткин А. И. – аспирант, Киселев В. С. – к.т.н., Радченко М. В. – д.т.н., профессор
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В процессе развития науки и техники создаваемые человеком технические системы, устройства, сооружения становятся все более сложными. Одновременно ужесточаются требования, предъявляемые к срокам проектирования новых изделий. В этих условиях традиционные неавтоматизированные методы проектирования оказываются

неэффективными. Создание и широкое использование систем автоматизированного проектирования (САПР) стало насущной необходимостью. Для решения этой важной народнохозяйственной задачи требуется соответствующая подготовка специалистов. Выпускникам вузов необходимо уметь работать в качестве пользователей САПР.

Объектами проектирования в САПР являются машины (самолеты, теплоходы, дизели и пр.), стенды и лаборатории для испытаний, технологические процессы для изготовления изделий, технологическая оснастка и инструменты.

Целью данной работы является исследование существующей на кафедре «Малый бизнес в сварочном производстве» аппаратуры для сверхзвуковой газопорошковой наплавки с помощью программного комплекса SolidWorks. Основными задачами являются: получение новых характеристик газопорошковой струи на выходе из горелки за счет изменения геометрических размеров основных узлов, увеличение срока службы оборудования за счет улучшения системы охлаждения.

Программный комплекс SolidWorks предназначен для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства изделий любой степени сложности и назначения. Специализированные модули программного комплекса решают задачи на этапе производства и эксплуатации.

Редактор SolidWorks 2013 позволяет создавать трехмерные модели отдельных деталей, сборочные единицы, состоящие из нескольких деталей, и чертежи по деталям. SolidWorks 2013 при моделировании может функционировать в трёх режимах: деталь, сборка, чертёж. При работе в режиме "деталь" сначала создаётся необходимое количество эскизов для основания, а потом добавляются другие элементы. Редактор SolidWorks 2013 позволяет произвольно изменять детали напрямую из сборки. Связь между деталями и сборкой гарантирует их синхронное обновление при изменении каких-либо параметров.

По существующим чертежам была создана модель пистолета для сверхзвуковой газопорошковой (СЗГПН) наплавки.

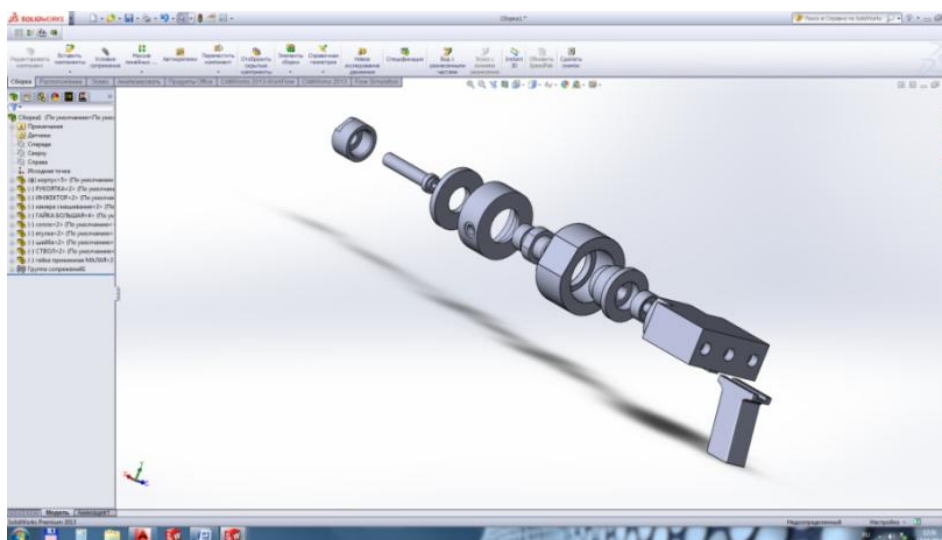


Рисунок 1 – Основные узлы пистолета для СЗГПН.

Далее полученные детали были сопряжены для модели пистолета для наплавки.

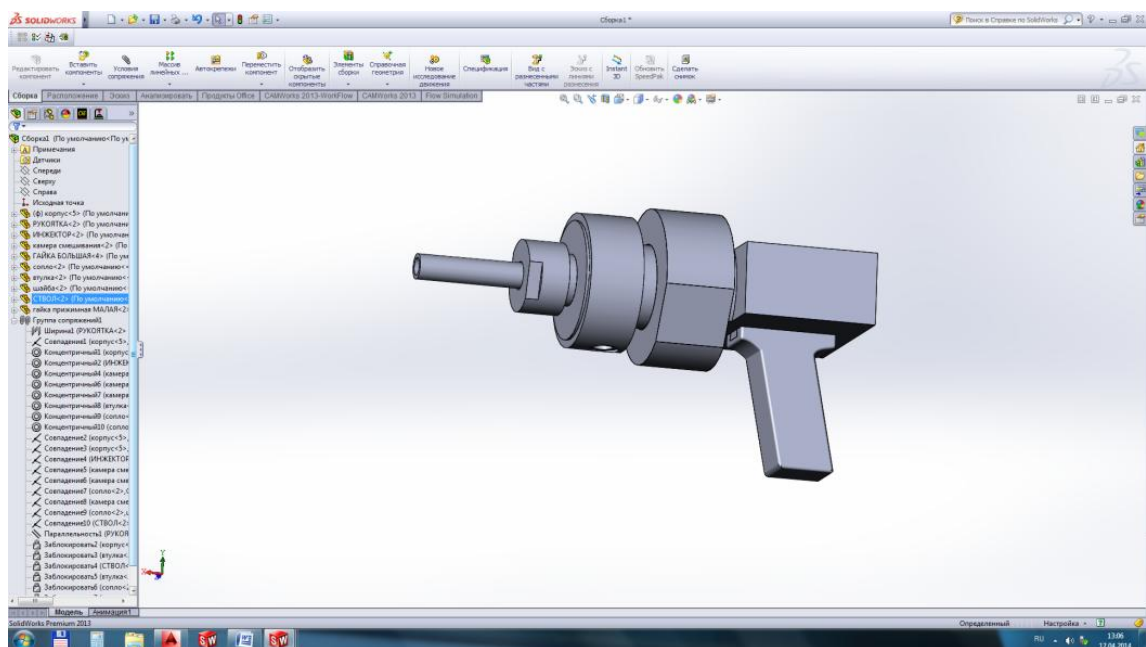


Рисунок 2 – 3D-модель пистолета для СЗГПН.

Далее из встроенных библиотек были выбраны материалы, из которых изготовлены отдельные узлы сборки.

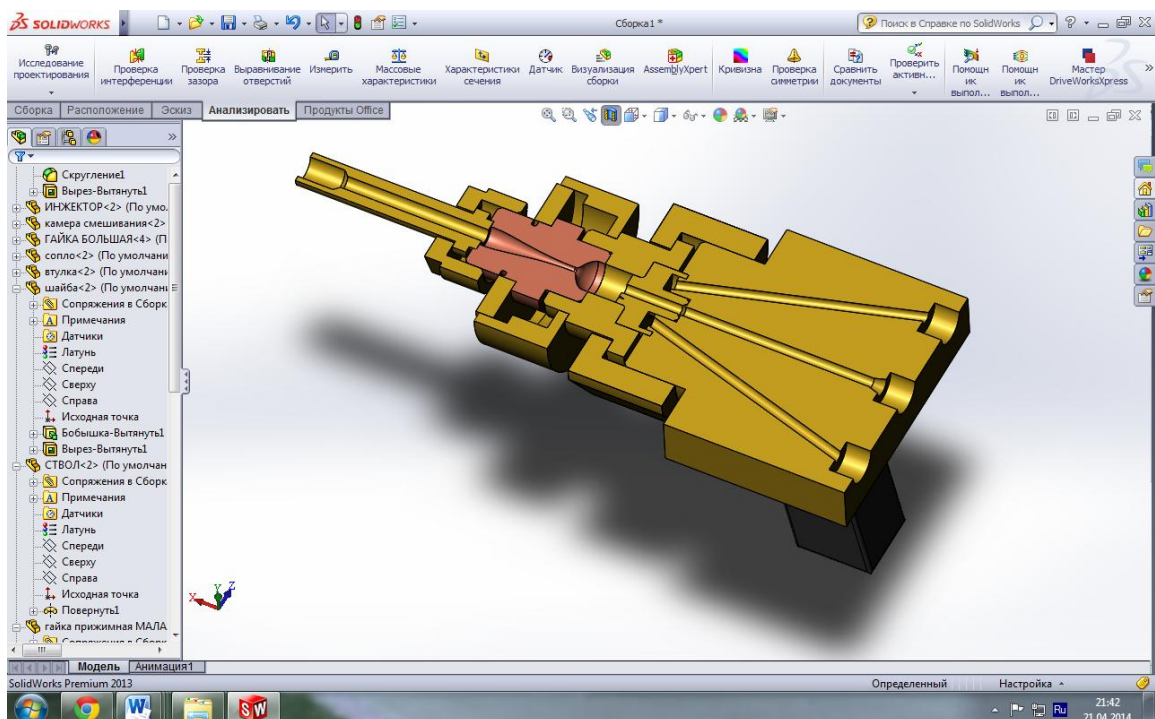


Рисунок 3 – Модель пистолета в разрезе.

С помощью универсального инструмента SolidWorksFlowSimulation, который является модулем гидрогазодинамического анализа в среде SolidWorks, проводится симуляция процесса смешения газов, прохождения их через сопло Лавая при различных геометрических размерах основных деталей, а именно камеры смешения и основного рабочего органа – сопла Лавая.

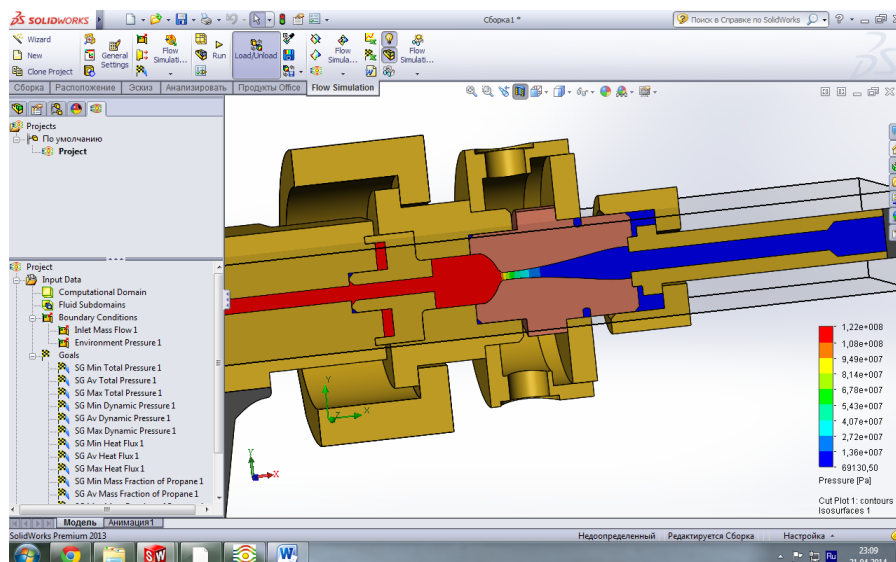


Рисунок 3 – Прохождение газовой смеси через сопло с сечением 1

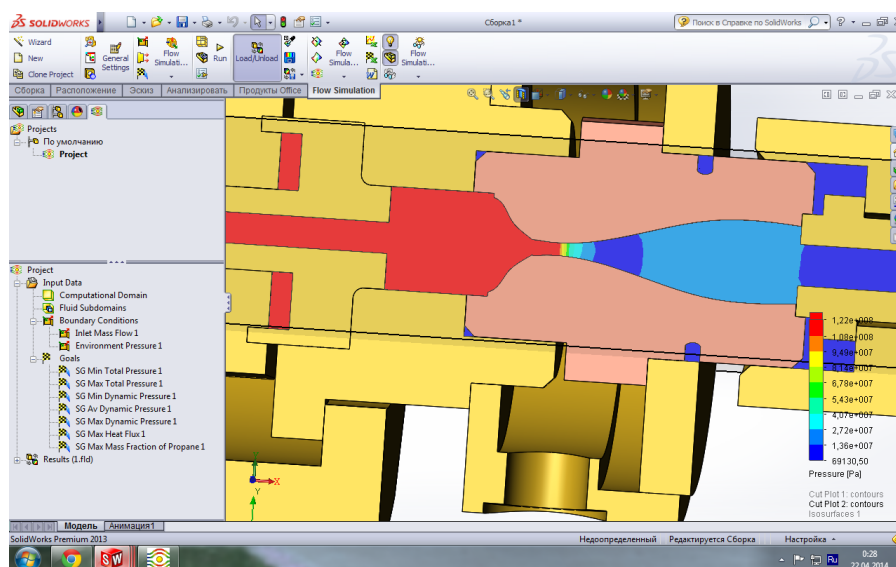


Рисунок 4 – Прохождение газовой смеси через сопло с сечением 2

Нетрудно заметить, что давление в сопле Лавалья с сечением 2 выше, чем с сечением 1, хотя входные параметры (давление и расход газов) остались неизменными. Также основные параметры сопла остались неизменными, а именно диаметры критического сечения, входного и выходного каналов. Была незначительно изменена, так называемая, «фигура» сопла.

Данное оборудование предложено для внедрения на ЗАО «БРИЗ» (Барнаулский ремонтно-инструментальный завод), входящее в крупную холдинговую компанию «Барнаулский станкостроительный завод», которая сегодня является одним из крупных производителей боеприпасов и промышленной продукции в России.

Сейчас на заводе совместно с техническим бюро ведется разработка технических процессов для производства вырубного, вытяжного, сверхточного инструмента для ЗАО «БПЗ» (Барнаулский патронный завод) с помощью технологии сверхзвуковой газопорошковой наплавки. В последнее время патронное производство значительно наращивает объемы, возрастают требования, предъявляемые к производимому инструменту (для вытяжного инструмента биение по рабочему конусу составляет 1 микрон на диаметр). «БРИЗ» не всегда справляется с планом, так как приходится увеличивать количество изготавливаемого инструмента, что не всегда благоприятно сказывается на качестве изделий. С помощью новых технологий можно значительно увеличить срок службы изделий,

значительно сократить время на производство.

Литература

1. Куприков М. Ю., Маслов Ю. В., Хотина Г. К., Никишина Л. Б. Твердотельное моделирование деталей в среде геометрического моделирования SolidWorks. – «МАИ-ПРИНТ», Москва, 2009. – 386 с.
2. М.В. Радченко, Д. А. Нагорный. Расчет сопла Лаваля при разработке аппаратуры для сверхзвуковой газопорошковой наплавки. – «Ползуновский вестник №3» – Барнаул, АлтГТУ, 2008. – 4 с.
3. В. С. Киселев. Повышение износостойкости наплавленных покрытий путем выбора рациональных технологических параметров на основе диагностики сверхзвуковых газопорошковых струй. – Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Барнаул, 2010. – 129 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СВЕРХЗВУКОВОЙ ГАЗОПороШКОВОЙ НАПЛАВКИ

Палаткин Н.Н. – аспирант, Радченко Т.Б. – д.т.н., профессор, Киселев В.С. – к.т.н.
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Решение проблем повышения надежности, долговечности машин и механизмов, экономного использования материалов, энергии и трудовых ресурсов имеют особое значение. Все эти проблемные задачи тесно связаны с обеспечением эффективной защиты поверхности деталей и конструкций от коррозии, изнашивания, эрозии. В настоящее время около 30 % ежегодной выплавки металлов идут на восполнение потерь, вызванных указанными процессами [1].

Борьба с этими вредными явлениями осложняется тем, что использование объемно-легированных материалов, являющееся в последние десятилетия основным способом решения этой проблемы, теряет свою привлекательность вследствие истощения запасов редкоземельных легирующих элементов и удорожания сплавов. Кроме того, по мере развития и совершенствования техники постоянно повышаются требования к изделиям и условиям их эксплуатации. Это выражается в постоянном увеличении скорости, температуры, агрессивности рабочих сред, чрезмерных механических нагрузок и т.д.

В наше время до 50% машин и металлоконструкций эксплуатируются в сильноагрессивных средах. Около 40% изделий работают в слабоагрессивных средах, лишь около 15% в неагрессивных средах [1].

Темпы развития промышленности таковы, что уже сейчас применение традиционных конструкционных материалов не в состоянии в полной мере решить проблему увеличения ресурса в экстремальных условиях эксплуатации техники и оборудования. В связи с этим целесообразно искать принципиально новые научные и организационные подходы к выбору конструкционных материалов, технологии нанесения защитных покрытий и способам внедрения данных технологий в производство. С другой стороны использование износостойких покрытий, в частности для энергетического оборудования, может существенно снизить материальные, энергетические и трудовые затраты на эксплуатацию, сократить простой, увеличить выпуск продукции, повысить качество и ресурс [2]. Это показывает значимость проблемы формирования защитных покрытий, как радикального пути повышения долговечности металлоконструкций, деталей механизмов.

Решением выше обозначенных проблем занимаются ряд научно-исследовательских коллективов России, среди которых кафедра «Малый бизнес в сварочном производстве» «Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова», г. Барнаул.

Наибольшее распространение в отечественной и мировой практике получили способы создания защитных покрытий на основе газотермических методов наплавки, напыления,

металлизации и т.п. Научная концепция разработанных подходов заключается в том, что механическая прочность конструкции гарантируется свойствами материала основы, а сопротивление воздействию внешних отрицательных факторов (эрозии, износу, коррозии и др.) достигается локальным формированием на поверхности широкой гаммы (по составу и назначению) тонких слоев покрытий из других материалов каким-либо из указанных выше методов. В результате, обеспечивается повышенная долговечность металлоконструкций даже в экстремальных условиях эксплуатации. При использовании технологий создания защитных покрытий выявляются другие полезные качества, такие как улучшение механических, теплофизических свойств, реализуется экономия на дорогих легированных материалах. В результате применения многофункциональных покрытий могут быть модернизированы установки и реализованы механизмы, свойства которых значительно отличаются в сторону более высокой износостойкости и термостойкости, жаропрочности [3].

Все возрастающие требования к параметрам и качеству синтеза покрытий многофункционального назначения ставят требование к автоматизации процессов нанесения покрытий и к диагностике параметров, получаемых покрытий. В данном направлении ведутся работы в Алтайском государственном техническом университете. На кафедре «МБСП» разработана и запатентована технология сверхзвуковой газопорошковой наплавки (СГП-наплавки), реализованы такие работы, как определение оптимальных теплофизических параметров источника энергии, сконструирована система автоматизированного регулирования расхода рабочих газов [4]. Исследование работы установки СГП-наплавки позволило определить оптимальные энергетические режимы технологического процесса, но задача обеспечить диагностику процесса СГП-наплавки пока находится на стадии решения, опираясь, в том числе, на методику диагностики сверхзвуковых газопорошковых струй [5].

В качестве испытательной площадки для новой технологии было выбрано энергетическое производство (Бийский котельный завод) [2]. Но, несмотря на попытки обосновать и внедрить технологии нанесения защитных покрытий для узлов котельного оборудования, широкого отклика это направление не нашло и использовалось локально на наиболее уязвимых и имеющих значительную аккумулированную стоимость направлениях котлостроения. Можно найти достаточное количество причин этому, но общее мнение таково, что не была достаточно проработана концепция и подходы в оценке преимуществ от внедрения технологии защитных покрытий. Неудачу можно объяснить отсутствием методик планирования производства наплавленных покрытий, непроработанными вопросами управления технологическим процессом и диагностики качественных показателей. В настоящее время ситуацию можно в корне поменять, реализовав информационно-технологическую базу для внедрения СГП-наплавки в производство.

Используя опыт эксплуатации и выводы по надежности энергетических объектов можно рекомендовать применение данных технологий в качестве эксплуатационно-затратных показателей функционирования предприятия и включать их в аспекты производственного цикла продукта (тепловой и электрической энергии). Т.о., в новых условиях технологии создания защитных покрытий – это технологии снижения общих капитальных затрат на производственные фонды (увеличение межремонтных промежутков, сокращение времени простоя оборудования и др. эффекты). Из этого вытекают и некоторые решения для задач производственной автоматизации предприятия, имеющего глубоко автоматизированную структуру (MES-системы, класса MRP, ERP), создание условий снижения затрат на содержание основных фондов, с возможностью достаточного планирования и прогнозирования аспектов производства продукта. Технология создания защитных покрытий – технология повышения надежности и производительности производственных фондов, вкпе позволяющая высвободить трудовые ресурсы из сферы обслуживания этих фондов, вполне вписывается в общую концепцию новых управленческих технологии производства энергии [6].

Эти рассуждения, опирающиеся на технические и экономические показатели опытных и

промышленных испытаний, доказали, что применение технологий защитных покрытий для нужд предприятия придерживающихся цели «достижения максимальных показателей», с использованием современных методов и средств автоматизации и планирования производства наполняется совершенно новым содержанием [7]. И система прогнозирования результатов технологического процесса СГП-наплавки должна обеспечить продуктивное полномасштабное внедрение этого перспективного направления в комплексную систему планирования и управления энергетическим производством.

Данный анализ обозначил новые горизонты и высокую актуальность научных основ технологий прогнозирования качества наплавляемого покрытия, концентрируя свое внимание на рекомендациях, характеризующихся однозначностью возможных решений. Рекомендации проведения технологического процесса СГП-наплавки будут относиться к разработке оптимальных ситуативных моделей, но оптимальных при определенных конкретных условиях. При этом в стороне не останутся инновационные технологии контроля и диагностики формирования покрытий при СГП-наплавке, внедрение которых будет прорабатываться в параллельных ситуативных решениях [5].

Разработки методов и технологий прогнозирования качества защитных покрытий, получаемых газотермическими методами, в последние десятилетия интенсивно решаются рядом зарубежных и отечественных фирм и НИИ. При этом самая распространенная концепция совершенствования технологии прогнозирования опирается на эмпирические и модальные принципы [3][8]. Применение известных методов диагностики получаемых покрытий, особенно в режиме реального времени, на данный момент проблематично, из-за не достаточно глубокого исследования протекающих процессов, сложности реализации описательных моделей и технологического оборудования [9].

На первоначальном этапе задача сводится к реализации автоматизированной системы планирования эксперимента (АСПЭ), реализуемой на базе диспетчерской системы контроля процесса СГП-наплавки и системы формирования и обработки баз экспериментальных данных. Данная задача и является целью этой работы, а дальнейшее исследование механизма прогнозирования качества износостойких покрытий нанесенных методом СГП-наплавки, на базе АСПЭ является актуальной научной и прикладной задачей.

В представленной работе раскрыты проблемные задачи, сопутствующие процессу автоматизации технологии формирования износостойких покрытий методом СГП-наплавки.

К таким таковым задачам относятся:

- проведение критического анализа методов и технической базы, обеспечивающих прогнозирование качества получаемых покрытий методом СГП-наплавки, с целью выявления положительных и отрицательных сопутствующих факторов;
- методы диагностики гетерогенной струи, свойств получаемых покрытий и параметров протекающего процесса;
- анализ общей и разработки инженерной алгоритмической модели процессов прогнозирования качественных показателей СГП-наплавки;
- анализ влияния параметров сверхзвукового гетерогенного потока на эффективность формирования покрытий;
- автоматизированный синтез рекомендаций по организации технического процесса получения наплавленных износостойких покрытий;
- поиск новых направлений использования технологий СГП-наплавки в промышленности;
- проведение критического анализа газотермических методов и альтернативной им техники СГП-наплавки, с целью выявления положительных и отрицательных факторов, возникающих при формировании покрытий;

Указанные задачи соответствуют пунктам перечня «Приоритетных направлений развития науки, технологий и техники», утвержденной Президентом Российской Федерации 21.05.2006г., а именно:

1. Порошковые технологии.

2. Нанотехнологии.
3. Энергетика и энергосбережение.
4. Транспортные, авиационные и космические системы.

Основной проектируемой системы планирования производственных процессов СГП-направки является база данных, сформированная при анализе проведенных экспериментов и исследований. Результатом использования полученных данных является автоматизированная система, реализующая согласно программным алгоритмам рутинные операции по подготовке производственного процесса (рис.1).

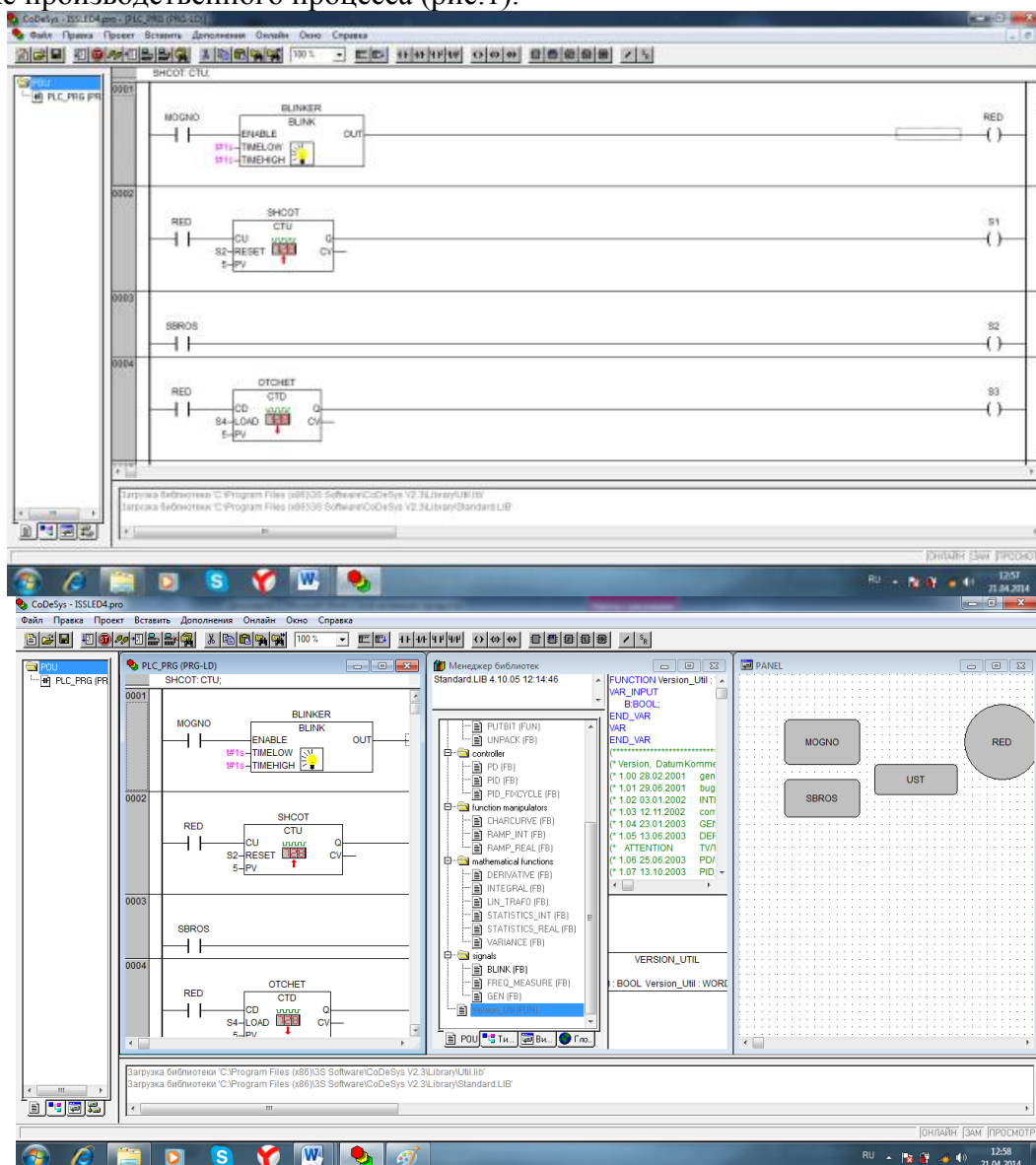


Рис.1. Программная реализация процесса управления комплексом СГП-направки.

Модернизация комплекса СГП-направки выполнена путем применения нового дозатора порошка с возможностью встраивания система прогрева транспортного воздуха.

Регулирование подачи порошка в струю осуществляется игольчатым клапаном ручным образом, стабилизация транспортного потока осуществляется прогревом воздуха.

Реализация системы управления выполнена на программируемом контроллере «Овен ПЛК-73». Программируемый контроллер осуществляет управление регуляторами расхода газов: РРГ-11 – регулятор расхода пропана; FestoDD18 – регулятор расхода кислорода. Регулирование осуществляется в ПИ – режиме, аналоговый сигнал регулирования 0-5 В, РРГ11, 0-10 В, FestoDD18. Сигналы обратной связи с систем регулирования поступают на аналоговые входа контроллера «Овен ПЛК-73», сигнал 0-10 В по расходу пропана от РРГ-11,

сигнал 4-20 мА по давлению кислорода, 0-10 В по расходу кислорода от FestoDD18. Есть вход и программное обеспечение для подключения датчика контроля горения пламени (рис.3).

Защита аппарата СГП-наплавки осуществляется непосредственно аппаратным применением средств защиты от взрыва и возгорания рабочих газов, средств мониторинга среды (превышение ПДК горючих газов), температурные защиты (сопла, патрубки), реле протока воды на охлаждение, реле контроля давления транспортного газа (исправность компрессора), контроль наличия пламени, а также программные средства: мониторинг соотношения β – расхода газов, мониторинг процесса горения пламени.

Система СГП-наплавки может работать в 4 режимах:

- Режим ручного регулирования и управления, непосредственно с кнопочной станции ПЛК.

- Режим автоматического регулирования, по заданным параметрам.

- Режим автоматического пуска/остановки установки.

- Режим аварийного завершения процесса СГП-наплавки.

Режим ручного регулирования и управления осуществляется с пульта и кнопочного поста на лицевой панели контроллера, возможно с предварительной установкой макроса регулирования и дальнейшей регулировкой, либо ручное задание параметров.

Пуск и останов осуществляется только в автоматическом режиме, либо система управления полностью выключается и непосредственно операции проводятся в ручном режиме. При выключенном защитном функционале продолжает работать система визуальной и звуковой сигнализации.

Режим автоматического регулирования осуществляется при завершении цикла автоматического пуска, либо при вводе в автоматический режим установки из ручного режима с соблюдением всех условий работы и отсутствия блокировок. Автоматическое регулирование осуществляется согласно выбранному макросу. САУ позволяет в ручном режиме отрегулировать ряд параметров в оперативном режиме. Все значения контролируются по сигналам обратной связи в функции заданного макроса по прописанным значениям аналогового программного регулятора.

Аварийное завершение процесса СГП-наплавки осуществляется при следующих ситуациях:

- Сигнал превышение ПДК горючего газа (пропана) в воздухе.

- Сигнал погасания пламени.

- Превышение значения параметров сигналов обратной связи.

- Отсутствие сигнала реле протока воды охлаждения сопла.

- Отсутствие сигнала реле давления транспортного воздуха.

- Отсутствие сигнала реле наличия вытяжки продуктов сгорания с зоны наплавки.

- Превышение температуры сопла (термосопротивление).

- Превышение температуры патрубков подвода рабочих газов (термосопротивление).

- Отказ регуляторов расхода рабочих газов (отсутствие ответных сигналов диагностики).

- Неисправность клапана сбоя пламени (отсутствие ответных сигналов диагностики).

- Неисправность контроллера системы автоматического управления.

- Отказ периферийных устройств: направляющие-стол, автоматика и электропривод перемещения горелки, электропривод перемещения детали, компрессор, блок перегрева транспортного воздуха.

- Высокая турбулентность пламени/малое значение расстояния от среза сопла горелки до детали (регулярные срывы пламени).

При активации режима аварийного завершения процесса наплавки осуществляется звуковая и световая сигнализация, контроллер выдает код ошибки/аварии, включается алгоритм безопасного завершения процесса наплавки, сопровождаемый следующими операциями:

- Мгновенно перекрывается подача пропана в горелку (сигнал задания на РРГ-11 устанавливается в 0 В).
- Открывается клапан сбоя пламени кислородной струей.
- Осуществляется закрытие клапана регулятора кислорода с заданной задержкой и динамикой (сигнал интегрально понижается до 0 В).

Периферийные устройства осуществляют выполнение операций при автоматизированной наплавке, сигналы разрешения получают от контроллера САУ, но выполнение операций осуществляют на базе собственных вычислительных возможностей, осуществляя обмен информацией с ЦПУ по определённому интерфейсу (протоколу связи RS-232, RS-485 и др.), либо в импульсно-релейном режиме. К такому устройству относится устройство перемещения горелки ось «х». Оно включает в себя направляющие-стол, силовая рама, электропривод, система регулирования оборотов электродвигателя, датчик перемещения абсолютных значений (энкодер), модуль преобразования абсолютных значений перемещений, модуль связи с ЦПУ. Сигнал задания на перемещение стола поступает с выхода контроллера на вход транзисторного коммутатора электродвигателя. Скорость перемещения горелки регулируется частотой подачи импульсов с выхода контроллера, параметры скорости определены в программе-макросе, сигнал обратной связи поступает с модуля преобразования абсолютных значений.

Параметры на различные режимы наплавки заложены в макросах-программах, прописанных в памяти компьютера или промышленного контроллера, данные сформированы пакеты данных и основываются на эвристических и экспериментальных значениях, они встраиваются в новый макрос и в дальнейшем корректируются, на базе конкретного процесса. Базы данных формируются и управляются на основе системы управления базами данных (СУБД), встроенной в систему визуализации производственного процесса (SCADA-система «Мастерскада», либо комплекс CoDeSyS). Таким образом настройка и обеспечение производственного процесса осуществляется достаточно простыми алгоритмами и сокращает время при смене производственных задач.

Исследования и инженерные разработки продолжаются, ищутся более оптимальные пути решения комплексной автоматизации процесса СГП-наплавки.

Литература

1. Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции "Создание защитных и упрочняющих покрытий".(г. Барнаул, 10-12 сент. 1996 г.)
2. Маньковский С.А. Повышение эксплуатационной стойкости поверхностей котлов с «кипящим слоем» путём создания защитных покрытий сверхзвуковой газопорошковой наплавкой: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук/ [Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова]. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. - 24 с.: а-ил.; 24 см.
3. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008. - 360 с.
4. Черемисин П. С. Разработка системы автоматического управления расходом рабочих газов в технологическом процессе сверхзвуковой газопорошковой наплавки защитных покрытий на элементы теплоэнергетических установок : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук; [Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова]. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. - 20 с.: а-ил.; 21 см.
5. Киселев В. С. Повышение износостойкости наплавленных покрытий путем выбора рациональных технологических параметров на основе диагностики сверхзвуковых газопорошковых струй: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук; [Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова]. - Барнаул: 2009. - 21 с.
6. Точно, вовремя, эффективно. Опыт внедрения систем планирования производства в России.
7. Синергетические методы. Энергетика. URSS
8. Рациональный подход к восстановлению деталей оборудования газотермическим

напылением (обзор)/ Ю.С. Коробов, В.И. Шумяков, А.С. Прядко// Машметсварка.- 2012.- №1.- С. 13-19.

9. Никитин П.В. Гетерогенные потоки в инновационных технологиях. М., «Янус-к», 2010. - 241 с.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Чуприна Е.А. – студент, Сейдуров М.Н. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Ковалев С.В. – начальник коммерческого отдела

ООО «Сибирь-Технология-Сервис» (г. Барнаул)

Проведение аттестации сварочного оборудования, применяемого на опасных производственных объектах, способствует повышению качества сварных соединений и снижает риск появления аварийных ситуаций при их эксплуатации. Процедура аттестации сварочного оборудования регламентируется РД-03-614-03.

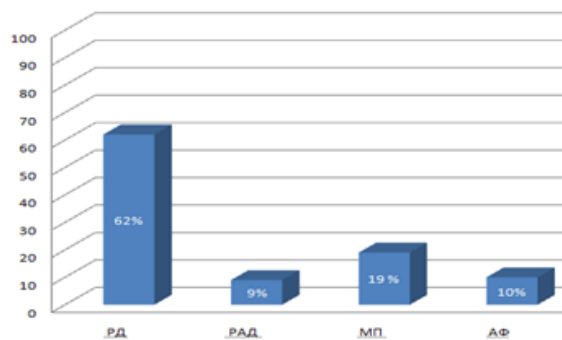
Опыт проведения аттестации сварочного оборудования показывает, что постепенно происходит вытеснение энергоемкого оборудования и замена устаревшего трансформаторного на современное оборудование инверторного типа. Обязательность аттестационных процедур вызывает необходимость предприятий следить за техническим состоянием собственного сварочного оборудования, проводить профилактическую работу и своевременное техническое обслуживание.

Продажа сварочного оборудования в период 2008-2011 гг. на мировом рынке не имела постоянства. По данным отчетов ведущих товаропроизводителей сварочной техники наибольшее сокращение продаж на мировом рынке сварочной техники было зафиксировано в 2009 г. Объем продаж уменьшился в среднем на 35...40% по сравнению с 2008 г. Только в 2010 г. начался подъем рынка, когда объем продаж возрос в среднем на 0,7% [1].

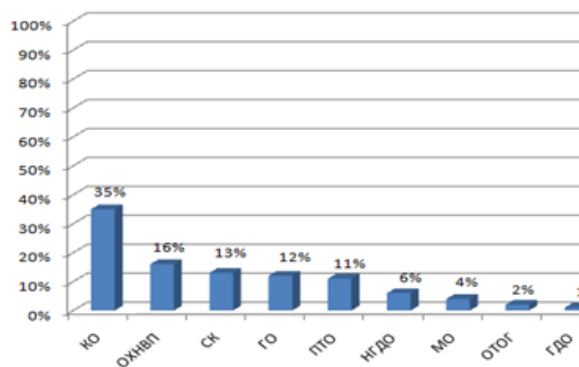
В 2011 г. доля рынка сварочного оборудования составила 24%. Современное сварочное производство предъявляет все большие требования к надежности и производительности оборудования при этом, сохраняя и улучшая качественные показатели продукции. Например, с помощью программного обеспечения серии «Wise» у фирмы «Kemppu» (Финляндия) появляются новые технологические возможности оборудования. Эти уникальные функции программного обеспечения используются в сварочных аппаратах для ручной и механизированной сварки «FastMig KMS», «FastMig Pulse», а также автоматизированной и роботизированной сварки «KempArc Synergic», «KempArc Pulse».

Цель работы – проанализировать область применения современного сварочного оборудования на опасных производственных объектах Алтайского края за период с 2005 г. по 2012 г.

При поддержке ООО «ГАЦ АР НАКС» был проведен анализ области применения современного сварочного оборудования на группах опасных технических устройств (ОТУ) по способам сварки. Как видно из рисунка 1, существенное преобладание имеет ручная дуговая сварка покрытым плавящимся электродом (РД) – 62%, а по группам ОТУ преимущество имеет котельное оборудование (КО) – 35%.



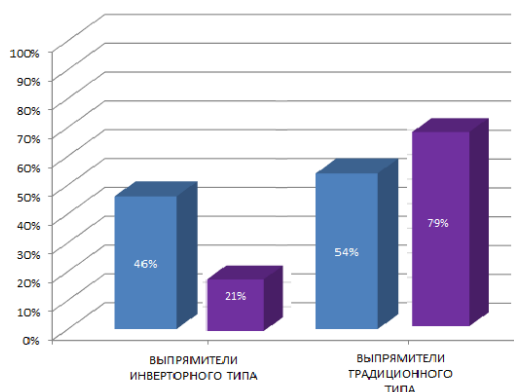
а)



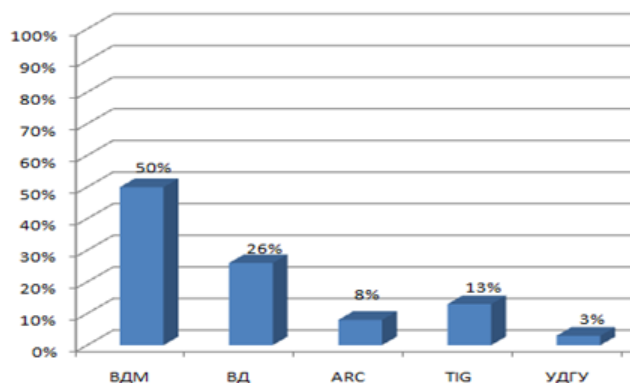
б)

Рисунок 1 – Область применения современного сварочного оборудования в Алтайском крае (2005-2012 гг.): а) по способам сварки; б) по группам ОТУ

Статистика применения выпрямителей, прошедших аттестацию в 2005-2009 гг. (фиолетовый цвет) и в 2009-2012 гг. (синий цвет) приведена на рисунке 2, а. Данная диаграмма позволяет подчеркнуть, что с 2009 г. в Алтайском крае повышается спрос на применение выпрямителей инверторного типа. Однако наиболее востребованным сварочным оборудованием при аттестации за период с 2005 г. по 2012 г являются сварочные выпрямители многопостовые типа ВДМ (рисунок 2, б), что говорит о значительной доле конвенционального (традиционного) оборудования.



а)



б)

Рисунок 2 – Аттестованное сварочное оборудование: а) выпрямители, прошедшие аттестацию в 2005-2009 гг. (фиолетовый цвет) и в 2009-2012 гг. (синий цвет); б) наиболее востребованное сварочное оборудование в Алтайском крае

Совместно с ООО «Сибирь-Технология-Сервис» был проведен сравнительный комплексный анализ сварочного оборудования Китайского производства (ARC 300 BRIMA, MMA-2500 MARS, MIG-500-2 Brima, MIG-350-1Brima, AMIG-350P-III, TIG-180P-1 MARS, TIG-500PAC/DC Brima) и оборудования фирмы «Kemppu» (Master MLS 3500, FastMig KMS 300, MinarcMig Evo 200, FastMig Pulse 450, Kempact 323 A, MinarcTig Evo, MasterTig MLS 4000) для различных способов сварки. Установлено, что оборудование фирмы «Kemppu» является более привлекательным для потребителя при аттестации, не смотря на то, что оно дороже. Оборудование фирмы «Kemppu» отличается рядом преимуществ, таких как компактность и мобильность, удобный графический интерфейс, низкое энергопотребление, высокое качество сварки [2].

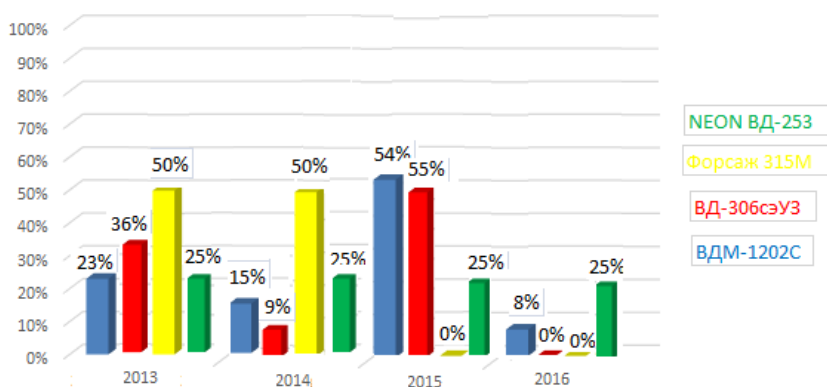
Данные по наиболее популярным маркам оборудования в Алтайском крае, в зависимости от срока действия свидетельства об аттестации, приведены отдельно по

способам сварки на рисунке 3. Для РД сварки самым востребованным до 2014 г. оборудованием является «Форсаж-315М», а с 2015 г. его вытесняет «NEON ВД-253».

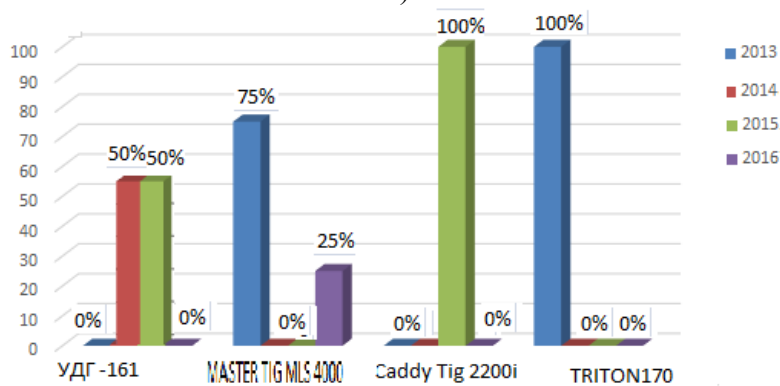
Следует отметить, в 2007-2008 гг. ведущее место занимали однопостовые источники питания, лидером по применению также являлись источники питания постоянного тока – выпрямители [3]. Наиболее популярными марками аттестованного сварочного оборудования были: «ВДМ-506», «Форсаж-315М», «ТДМ-401У2».

Лидирующие позиции по ручной аргодуговой сварке неплавящимся электродом (РАД) удерживает оборудование «MasterTig MLS 4000», а в механизированной сварке в среде углекислого газа (МП) – полуавтомат «FastMig MSF 55», которые вытеснили традиционное оборудование марок «УДГ-161» и «ПДГО-510», соответственно. В области сварки под слоем флюса (АФ) самым популярным оборудованием, заявляемым при аттестации, является автомат марки «NA-3N» фирмы «Lincoln Electric» (США), заменивший востребованное ранее оборудование «АДС-1000-4».

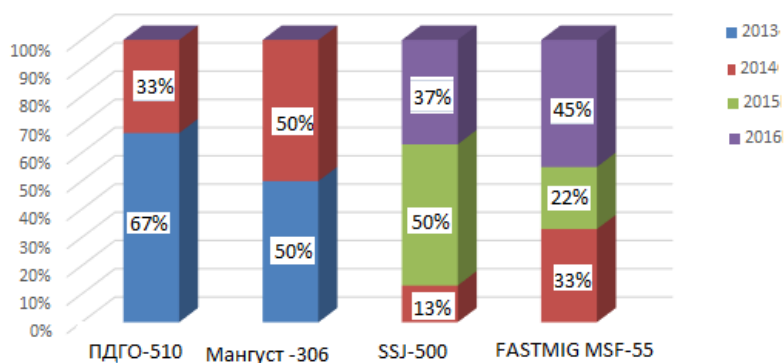
Проведенный анализ области применения современного сварочного оборудования на опасных производственных объектах Алтайского края за период с 2005 г. по 2012 г. показал, что с 2009 г. стали проявляться новые тенденции в области сварочного производства, ориентированные использование оборудования инверторного типа.

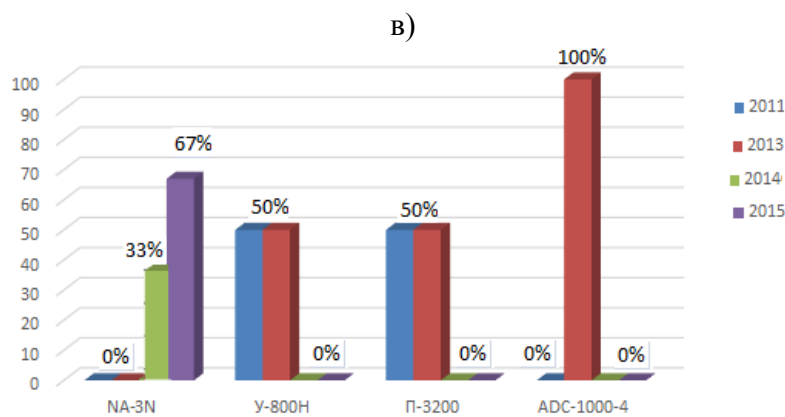


а)



б)





г)

Рисунок 3 – Наиболее популярное сварочное оборудование в зависимости от срока действия свидетельств об аттестации: а) для РД; б) для РАД; в) для МП; г) АФ

Литература

1. Маковецкая О.К. Основные тенденции на рынке сварочной техники в 2008 – 2011 гг и прогноз его развития / Автоматическая сварка. – 2012. № 6. – С.44-50.
2. Васильев А.В. Экономические преимущества перевооружения предприятий / А.В. Васильев, К.Б. Назайкинский // Сварочное производство. – 2014. – № 1. – С. 35-37.
3. Смола А.В. Особенности проведения аттестации сварочного оборудования на опасных производственных объектах Алтайского края / А.В. Смола, М.Н. Сейдулов, Д.П. Чепрасов / Горизонты образования. – 2009. – Выпуск 11. – электронный ресурс [доступ свободный]. – <http://edu.secna.ru/media/f/sp.pdf>. – С. 24-27.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ БЕЙНИТНЫХ СТРУКТУР В ПРОКАТЕ ДЛЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКОМ РАСПАДЕ АУСТЕНИТА

Мартыненко А.А. – студент, Сейдулов М.Н. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Улучшение свариваемости и повышение механических свойств низколегированных сталей бейнитного класса достигается термической обработкой, формирующей в прокате структуру перлита зернистой морфологии. Следовательно, в ОШЗ сварного соединения исключается образование закалочных структур, повышаются показатели ударной вязкости и порога хладноломкости.

С целью улучшения сфероидизирующей термической обработки проката охлаждение стали проводили в интервале температур формирования промежуточных структур зернистой морфологии с последующим высоким отпускком. Сталь 24Х2НАч охлаждали в интервале скоростей охлаждения в интервале фазовых превращений от 1,8 до 16,8°С/с, с последующим высоким отпускком при температуре 670°С.

Установлено, что скорость охлаждения стали при формировании промежуточной структуры зернистой морфологии существенно влияет на дисперсность распределения карбидной фазы в ферритной матрице

Распределение глобулярных карбидов в феррите зависит от того, в какой области промежуточного превращения происходит распад аустенита на мезоферрит и зернистый бейнит. Так если распад происходит в верхнем интервале температур, то последующий высокотемпературный отпуск приводит к неоднородному распределению карбидной фазы по объему проката. Неравномерное распределение карбидной фазы в стали 24Х2НАч наблюдается при скорости охлаждения в интервале фазовых превращений от 1,8 до 4,8°С/с.

В заданном интервале распад переохлажденного аустенита начинается с образования доэвтектоидного феррита и последующего распада на промежуточные структуры. Высокотемпературный отпуск приводит к формированию структуры зернистого перлита, чередующегося с полиэдрическими зёрнами феррита.

Увеличение скорости охлаждения в интервале фазовых превращений свыше $4,8^{\circ}\text{C}/\text{с}$ приводит при последующем высокотемпературном отпуске, к формированию однородной феррито-карбидной смеси, равномерно распределенной по объему металла. Благоприятное распределение карбидной фазы, с увеличением скорости охлаждения проката, обрабатываемого на промежуточную структуру зернистой морфологии, объясняется снижением доли доэвтектоидного феррита и формированию в структуре проката мезоферрита. Мезоферрит образовывается в области промежуточного распада аустенита, что способствует формированию промежуточной структуры зернистой морфологии.

Таким образом, термообработку проката на бейнит зернистой морфологии необходимо осуществлять в узком диапазоне скоростей охлаждения, обеспечивающих формирование в структуре мезоферрита.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ БЕЙНИТНЫХ СТРУКТУР В ПРОКАТЕ ДЛЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ВЫДЕРЖКИ

Маматов И.Н. – студент, Сейдуров М.Н. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Улучшение свариваемости и повышение механических свойств низкоуглеродистых низколегированных сталей класса достигается термической обработкой, формирующей в прокате бейнитную структуру зернистой морфологии. Изотермическая выдержка образцов позволила изучить механизм распада аустенита в низколегированных сталях 15ХМ и 24Х2Н4Ч. Образцы цилиндрической формы имели размеры 24×12 мм. Исследования микроструктуры выполняли на металлографическом микроскопе «NEOFOT-32».

После нагрева в соляной ванне до 880°C и выдержки в течение 10 мин. образцы переносили в свинцовую ванну. Время, затрачиваемое на перенос, не превышало 1 с. Температуру в свинцовой ванне для каждой новой партии образцов понижали на 50°C в диапазоне от 600 до 400°C . Время выдержки каждого последующего образца партии увеличивали, и оно соответственно составляло от 1 до 1200 с. После выдержки в свинцовой ванне образцы охлаждали в воде для перевода нераспавшегося аустенита в мартенсит.

Установлено, что для стали 15ХМ превращение протекает полностью, малое количество углерода и растворенных легирующих элементов не создают условия для его обогащения и повышения устойчивости. При температуре 500°C распад аустенита начинается с выделения добейнитной α -фазы по его границам зерен, через 5 с общее количество распавшегося аустенита составляло 20 %, через 50 с – 50 %, при этом шел его интенсивный самоотпуск. Через 15 мин распад аустенита полностью завершается, структура представляет собой быстро травящуюся ферритную матрицу с мелкодисперсными глобулярными карбидами самоотпуска. При этом в стали 15ХМ зону повышенной устойчивости аустенита зафиксировать не удалось.

При изотермической закалке стали 24Х2Н4Ч установлено, что в интервале температур $600 \dots 400^{\circ}\text{C}$ полного распада аустенита не происходит даже при выдержках 2 ч. Нераспавшаяся часть аустенита при последующем охлаждении превращается в мартенсит. Количество нераспавшегося в промежуточном интервале аустенита тем больше, чем выше температура изотермической выдержки.

Превращение при 550°C начинается с появления добейнитной α -фазы. Через 20 с. изотермической выдержки общее количество продуктов распада аустенита достигает $50 \dots 60$ %. В некоторых редких участках начинает просматриваться карбидная фаза в виде

отдельных или чередующихся пластин-игл. Последние более отчетливо видны после травления щелочным раствором пикрата натрия. Эти участки механической смеси α -фазы и пластинчатых карбидов следует считать верхним бейнитом, однако в рассматриваемой структуре его еще мало. Основная часть структуры состоит из добейнитной альфа фазы, образовавшегося в результате $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения, в процессе которого карбиды не выделялись, а углерод диффузионно перераспределялся от фронта фазовой перекристаллизации в непревращенный аустенит.

Зерна добейнитной α -фазы в основном имеют полиэдрическую форму и различаются размерами в зависимости от времени образования. Они в одних участках примыкают друг к другу, в других выглядят как островковые включения окруженные мартенситом, образовавшимся в процессе охлаждения. Следующие 40 с. превращение идёт со значительно меньшей скоростью, что связано с увеличением концентрации углерода в непревращенном аустените и повышением его устойчивости.

За этот отрезок времени распалось ещё примерно 20 % аустенита, превратившись в основном в верхний бейнит. Появились признаки отпуска добейнитной α -фазы, образовавшегося на начальных стадиях распада. Дальнейшие выдержки, незначительно увеличивая количество изотермически распавшегося аустенита, приводят к развитию отпускных процессов. В результате появляются мелкодисперсные глобулярные карбиды, придающие структуре более однородный зернистый вид. Однако такая структура уже не является непосредственным продуктом распада аустенита.

Образование добейнитной α -фазы наблюдается и при более низких температурах изотермического превращения, вплоть до температуры 450 °С. Количество аустенита, претерпевшего бескарбидный этап распада, с понижением температуры от 500 до 450 °С резко уменьшается, вследствие снижения диффузионной подвижности углерода. Количество верхнего бейнита в структуре соответственно растёт. Продукты превращения становятся дисперснее. При температуре изотермической выдержки 400 °С распад аустенита начинается непосредственно с образования игольчатой механической смеси α -фазы и карбидов, идентифицированной как нижний бейнит.