

Использование указанных величин позволило аналитически определить параметры воздействия на металл: эквивалентную глубину проникновения магнитного поля в металл (скин - слой)  $\Delta$ , мм; напряженность магнитного поля  $H_0$ , А/м; давление магнитного поля  $P$ , МПа; плотность вихревых токов  $j$ , А/мм<sup>2</sup>.

После остывания образца - отливки извлекались из тиглей, разрезались по диаметральной плоскости, исследовались на наличие макродефектов и микроструктуру с помощью шлифов.

Металлография подтвердила предположения о благоприятном воздействии ИМП на структуру, так как позволяет: устранить зону столбчатых кристаллов; измельчить зерно; выровнять химическую неоднородность. Кроме того, обнаружено, что микроструктура сплава, обработанного ИМП, представляет собой типичную доэвтектическую структуру, то есть произошел перевод сплава АК-12 из доэвтектического через эвтектику в доэвтектическое состояние и получен эффект модифицирования без введения модификатора.

Таким образом, воздействие ИМП на кристаллизующийся расплав является положительным и перспективным для дальнейшего исследования.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ СВАРКИ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПРОТЕКТОРНЫХ КОЛЕЦ В ТРУБАХ**

**Карпухин В.Ф., Войнов А.К.**

*Самарский государственный аэрокосмический университет  
443086, Самара, Московское шоссе 34, СГАУ,  
e-mail: gl@lib1.ssau.ru*

**АННОТАЦИЯ.** Рассмотрен процесс магнитно-импульсной сварки протекторного кольца со стальными трубами. Проведен анализ влияния технологических параметров на процесс сварки. Приведены результаты использования процесса для антикоррозионной защиты трубопроводов.

Опыт эксплуатации нефтепроводов показывает, что основная доля аварий связана с коррозионным разрушением труб. Поэтому

большое внимание при монтаже и эксплуатации трубопроводов уделяется его антикоррозионной защите.

Антикоррозионная защита трубопроводов осуществляется по двум основным направлениям. Первое направление связано с использованием элементов трубопроводов и защитных покрытий из материалов, обладающих высокой стойкостью против коррозии. Второе – протекторная защита, при которой вследствие электрохимических процессов в процессе эксплуатации происходит растворение протекторного материала, препятствующего коррозии материала трубопровода. В практике широко используются оба направления.

В качестве защитных применяются лакокрасочные, полимерные, эмалевые и другие виды покрытий трубопроводов. Защитные покрытия обеспечивают достаточно высокую антикоррозионную стойкость трубопроводов и нашли широкое применение. Однако нагрев концевых участков труб при стыковой электродуговой сварке труб значительно превышает температуростойкость покрытий. Поэтому сложной задачей является защита участков труб, прилегающих к стыку, особенно это касается внутренней поверхности трубопровода.

В последние годы предпринимаются усилия для использования протекторной защиты зоны стыка внутренней поверхности труб. Основным условием работоспособности протекторной защиты является обеспечение надежного электрического контакта протектора с защищаемой трубой. Применяются механические методы крепления протектора к трубе, однако они сложны в изготовлении и не обеспечивают надежного контакта протектора с трубой в процессе длительной эксплуатации.

Используются методы нанесения протекторного материала на внутреннюю поверхность трубы с помощью процессов наплавки и плазменного напыления. Недостатком этих методов является наличие литейной структуры протекторного материала, что приводит к повышенной скорости его растворения при эксплуатации и потере протекторных свойств.

В различных отраслях промышленности используется магнитно-импульсная технология, которая позволяет осуществлять широкий спектр технологических операций, таких как формовка, сборка, сварка и ряд других. Она характеризуется высокой производительностью, технологичностью и экологической чистотой.

Магнитно-импульсная сварка позволяет получать надежные

соединения однородных и разнородных материалов, в том числе алюминиевых сплавов со сталями [1]. Поэтому она является перспективным процессом для закрепления протекторных колец на внутренней поверхности участков труб, прилегающих к торцам.

Протекторы закрепляются в трубах на таком расстоянии от торца, которое гарантирует, что зона соединения протектора с трубой не будет нагреваться при сварке стыка труб выше  $300^{\circ}\text{C}$ . В противном случае взаимодействие алюминия со сталью приводит к росту интерметаллидной прослойки на границе раздела материалов и значительному снижению прочности соединения.

В качестве протекторного материала используются алюминиевые сплавы, легированные магнием. Сварить такой материал методами сварки в условиях высокоскоростного соударения не представляется возможным [2]. Поэтому на внутреннюю поверхность трубы приваривают кольцо из технического алюминия, а на его поверхность приваривают протекторное кольцо из необходимого материала.

При выборе технологических параметров процесса магнитно-импульсной сварки протекторного кольца с трубой следует учитывать, что трубы имеют широкое поле допусков на размеры. Вследствие этого величина начального зазора между свариваемыми поверхностями может существенно отличаться от номинального значения. Поэтому при выборе величины начального зазора, обеспечивающей соударение свариваемых деталей в течение первой четверти периода колебаний разрядного тока, для компенсации возможных отклонений внутреннего диаметра трубы величину энергии разряда установки, рассчитанную по формулам работы [3] при номинальном размере трубы, следует увеличить в 3,7 раза, что является затруднительным, так как требует увеличения энергоемкости установки и значительно снижает ресурс индуктора.

К концу первого полупериода скорость разгона метаемого элемента достигает своего максимума, что позволяет минимизировать значение необходимой для сварки энергии разряда установки и, кроме того, параметры соударения в достаточно широком диапазоне изменения величины начального зазора практически не зависят от его значения. В связи с этим процесс сварки наиболее рационально проводить таким образом, чтобы соударение свариваемых деталей происходило в течение второй четверти периода колебаний разрядного тока. Следовательно, величина начального зазора  $h$  должна удовлетворять условию:

$$\frac{V_{\min}}{12 f_p} \leq h \leq \frac{V_{\min}}{4 f_p}, \quad (1)$$

где  $V_{\min}$  - минимальное значение скорости соударения, обеспечивающей образование сварного соединения;  $f_p$  - частота разрядного тока.

Величина начального зазора ограничивается сверху двумя условиями. Первое условие связано с тем, что величина пластической деформации кольца не должна превышать предельных значений  $\epsilon_{\text{пр}}$  для материала, из которого оно изготовлено. В противном случае кольцо разрушится до его соударения с трубой. Предельная величина зазора

$$h_{\max} < \epsilon_{\text{пр}} R, \quad (2)$$

Второе условие связано с требованием того, чтобы силы, действующие на внутреннюю поверхность индуктора, не превышали реакцию заготовки на индуктор при конечном положении заготовки. Это условие с достаточной степенью точности определяется из выражения:

$$h_{\max} < \sqrt{R_n^2 + R_{\text{в}}^2} - (R_n + \delta_n), \quad (3)$$

где  $R_n$  и  $R_{\text{в}}$  - наружный и внутренний радиусы индуктора по металлу;

$\delta_n$  - величина изоляционного зазора между индуктором и заготовкой.

Анализ показывает, что максимальная величина начального зазора ограничивается условиями (2) и (3) при сварке протектора с трубой диаметром до 130 мм. При больших диаметрах трубы максимальная величина зазора ограничивается условием (1).

Использование достаточно больших зазоров позволяет осуществить сварку одного типоразмера протекторного кольца с рядом типоразмеров труб, отличающихся толщиной стенки. При этом энергия разряда МИУ остается неизменной. Для сварки протекторов с трубами одного наружного диаметра с толщиной стенки от 4 до 10 мм достаточно иметь два типоразмера протекторных колец и, соответственно, два индуктора.

Амплитудная величина давления импульсного магнитного поля

$P$ , необходимая для разгона метаемой заготовки, имеющей толщину  $S$ , к концу первого полупериода разрядного тока до скорости, обеспечивающей образование соединения, определяется выражением:

$$P = 4 V_{\min} f_p \rho S, \quad (4)$$

где  $\rho$  - плотность материала протекторного кольца.

Необходимая для сварки величина давления остается неизменной для всех диаметров труб. Для оптимизации процесса сварки при неизменной длине протекторного кольца необходимо подбирать такое количество витков индуктора в зависимости от его диаметра, которое обеспечивает его оптимальное согласование с магнитно-импульсной установкой.

Процесс магнитно-импульсной сварки использовался для закрепления протекторных колец в трубах диаметром от 114 до 325 мм. Полученные соединения успешно прошли лабораторные испытания. Изготовлена партия труб с протекторной защитой и проложен экспериментальный участок трубопровода в одном из нефтедобывающих объединений. Результаты двухгодичной эксплуатации трубопровода подтверждают перспективность использования магнитно-импульсной сварки для обеспечения антикоррозионной защиты.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дудин А.А. Магнитно-импульсная сварка.-М.:Металлургия,1979.-128 с.
2. Кудинов В.М., Коротеев А.Я. Сварка взрывом в металлургии.-М.: Металлургия,1978.-168с.