

УДК 621.791.7

**РАЗРАБОТКИ КАФЕДРЫ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НИУ «МЭИ»
В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ РАЗНОРОДНЫХ
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

В. К. ДРАГУНОВ, Р. В. РОДЯКИНА, Г. С. РАГОЗИН

Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Россия

UDC 621.791.7

**DEVELOPMENTS OF METALS TECHNOLOGY DEPARTMENT
OF NRU «MPEI» IN THE FIELD OF ELECTRON-BEAM WELDING
OF DISSIMILAR METALS AND ALLOYS**

V. K. DRAGUNOV, R. V. RODYAKINA, G. S. RAGOZIN

Аннотация. Представлены отдельные результаты работ специалистов кафедры «Технологии металлов» НИУ «МЭИ» и созданного на ее основе научно-производственного и образовательного центра по электронно-лучевой сварке изделий из разнородных металлов и сплавов. Продемонстрированы возможности электронно-лучевых технологий в этой области.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, электронно-лучевая наплавка, разнородные металлы и сплавы, неразъемное соединение.

Abstract. Some results of the work of specialists from Metals Technology Department of National Research University «MPEI» and its scientific, production and educational center for electron beam welding of products from dissimilar metals and alloys are presented. The possibilities of electron-beam technologies in this area are demonstrated.

Keywords: electron-beam welding, electron beam surfacing, dissimilar metals and alloys, one-piece connection.

В современных условиях активного совершенствования мировой рыночной экономики кафедра «Технологии металлов» Национального исследовательского университета «Московский энергетический институт» и созданный на ее основе научно-производственный и образовательный центр являются одним из флагманов развития электронно-лучевых технологий в России.

Одним из направлений деятельности центра является проведение исследований с целью выявления возможностей применения электронно-лучевых технологий для сварки изделий из разнородных металлов и сплавов, а также выполнение работ по электронно-лучевой сварке таких изделий толщиной 0,3...100 мм.

Электронно-лучевая сварка переходников трубопроводов из разнородных сталей.

Так, например, применительно к трубопроводам сотрудниками центра были разработаны меры по увеличению предельной температуры эксплуатации разнородных соединений, входящих в состав трубопроводов, за счет использования комбинированных переходников из разнородных (аустенитных и перлитных) сталей (рис. 1).



Рис. 1. Переходник из разнородных сталей.
Внешний вид соединения

В процессе эксплуатации при рабочих температурах в сварных соединениях разнородных труб из-за существенного различия коэффициентов линейного расширения могут возникать дополнительные термические напряжения (наибольшая разница в коэффициентах линейного расширения, достигающая 25 %...35 %, имеется между сталями перлитного и аустенитного классов). Совместное действие этих напряжений и остаточных сварочных и рабочих напряжений может в итоге приводить к

разрушению трубопроводов. Особенно велика опасность такого разрушения при циклических нагрузках трубопроводов, которые работают в температурном диапазоне интенсивного образования диффузионных прослоек. В комбинированных переходниках из разнородных сталей используются перлитные стали с более высоким содержанием карбидообразующих элементов, чем в свариваемых перлитных сталях. Помимо этого, в ходе изготовления таких переходников на перлитную сталь обычно наплавляют защитный облицовочный слой с еще более высоким содержанием сильных карбидообразующих элементов, а электронно-лучевая сварка выполняется с присадочными материалами с высоким содержанием никеля. Преимущества такого способа становятся очевидными при монтаже и выполнении ремонта конструкций: переходник в этом случае может быть изготовлен в цеховых условиях независимо от конструкции, а в ходе монтажа выполняют сварку только однородных соединений. Предлагаемая технология позволяет значительно повысить качество соединения разнородных сталей, сварка которых выполняется в цеховых условиях, а не в ходе монтажа; достижение подобного качества в условиях монтажа в настоящее время практически нереализуемо.

Такие переходники можно использовать как для непосредственного соединения труб, так и изготавливать из них другие детали, например штуцеры (их можно применять, к примеру, для соединения парогенератора из стали 20К с трубопроводами из стали 08X18H10T).

Электронно-лучевая сварка тонкостенных изделий с массивными деталями из разнородных цветных металлов и сплавов на их основе.

Электронно-лучевая сварка является наиболее перспективным способом получения неразъемных соединений в случае сварки изделий из цветных металлов и сплавов, особенно когда требуется обеспечить высокую степень защиты металла шва. Специалистами научно-производственного центра кафедры «Технологии металлов» были разработаны соответствующие технологии, которые позволяют получать сварные соединения тонкостенных изделий

с массивными деталями из разнородных цветных металлов и сплавов на их основе.

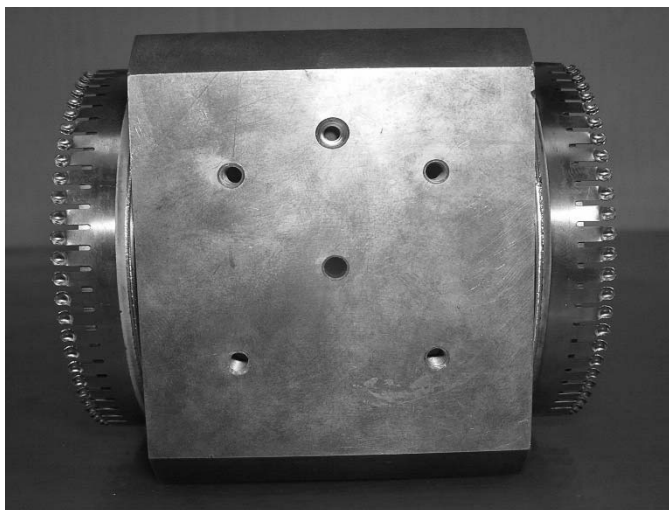


Рис. 2. Сварная конструкция применяемого в большом адронном коллайдере элемента измерительного устройства из меди и фольги бериллиевой бронзы

модель формирования сварного шва с учетом особенностей распространения теплоты и поведения сварочной ванны при воздействии концентрированного источника энергии (электронный луч).

Кроме того, установлено, что при сварке деталей из разнородных материалов на формирование сварного шва сильно влияют физические явления, связанные с процессами испарения, смачивания и формирования химического состава металла сварочной ванны, поэтому необходимы их обязательный учет и контроль при разработке технологии сварки.

На рис. 2 показан пример реализации такой технологии – сварная конструкция применяемого в большом адронном коллайдере элемента измерительного устройства из меди и фольги бериллиевой бронзы (толщиной менее 0,3 мм). Особенностью формирования сварного соединения в этом случае является заметное влияние толщины и формы соединяемых деталей. Для получения качественных сварных соединений для тонкостенных или разнотолщинных изделий необходимо строго дозированное, локальное подведение энергии, которое обеспечивается применением электронно-лучевой технологии. Вакуум обеспечивает дополнительную защиту металла шва, поэтому электронно-лучевая сварка для таких изделий является наиболее перспективным способом получения неразъемных соединений.

Для повышения качества получаемых сварных конструкций при электронно-лучевой сварке массивных деталей и тонкостенных элементов специалистами центра предложено использовать новую

Электронно-лучевая сварка (наплавка) меди и сплавов на ее основе со сталями разных структурных классов.

В настоящее время в промышленности широко используют комбинированные конструкции, причем для более рационального применения в них дорогостоящих материалов (например, меди) такие материалы стараются использовать только для тех частей изделий, которые обеспечивают необходимые эксплуатационные характеристики изделий. Все остальные, в том числе наиболее массивные части таких комбинированных конструкций, стараются изготавливать из более дешевых материалов (например, из стали). Помимо удешевления таких конструкций и экономии дорогостоящих материалов, такой подход позволяет снизить общий вес конструкции, что особенно актуально, например, для аэрокосмической техники.

В комбинированных конструкциях из стали и сплавов на основе меди для соединения отдельных ее частей целесообразно использовать сварку, т. к. механическое крепление во многих случаях оказывается трудно-выполнимым и ненадежным в эксплуатации. При этом электронно-лучевая сварка является наиболее предпочтительной, т. к. позволяет обеспечить высокую концентрацию энергии (в диапазоне от 10^4 до $5 \cdot 10^8$ Вт/см²) в зоне действия луча в сочетании с минимальной зоной термического влияния и максимальной степенью защиты обрабатываемого материала от влияния атмосферных газов (процесс сварки проходит в вакууме). На кафедре «Технологии металлов» проводились работы по разработке технологии электронно-лучевой сварки сталей разных структурных классов с медью или сплавами на ее основе, которая позволила бы обеспечить требуемые химсостав, структуру и свойства получаемых сварных соединений применительно к комбинированным конструкциям.

Так, для повышения качества применяемых в электрических машинах токосъемных колец из хромистой бронзы БрХ08 специалистами научно-производственного центра кафедры «Технологии металлов» был предложен метод изготовления таких колец из цилиндрической сварной трубы. Вплоть до настоящего времени для изготовления токосъемных колец использовались различные методы литья, однако они не всегда позволяют получить изделия высокого качества из-за наличия в получаемых отливках пор и раковин. В соответствии с предложенным сотрудниками кафедры «Технологии металлов» методом после вальцовки сварка продольного стыка трубы выполняется электронным лучом, что позволяет значительно повысить качество получаемых изделий. Внешний вид заготовки для изготовления токосъемных колец и макрошлиф полученного сварного соединения представлены на рис. 3. Однако при реализации данного метода коэффициент использования материалов имеет очень низкие значения.

Вследствие этого специалистами центра был предложен способ сварки (наплавки) бронзы БрХ08 со сталями разных классов, позволяющий значительно снизить расход бронзы, уменьшить вес получаемых изделий и повысить их прочность (рис. 4).

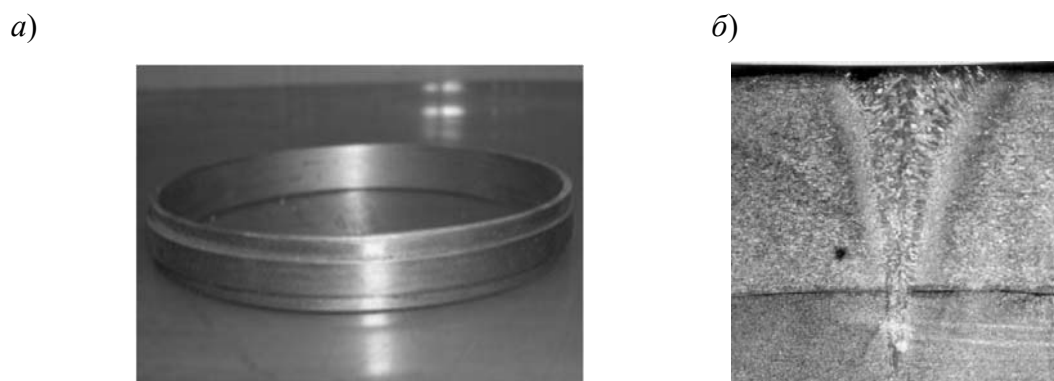


Рис. 3. Внешний вид заготовки для изготовления токосъемного кольца из бронзы БрХ08 и стали перлитного класса (а) и макрошлиф полученного сварного соединения (б)

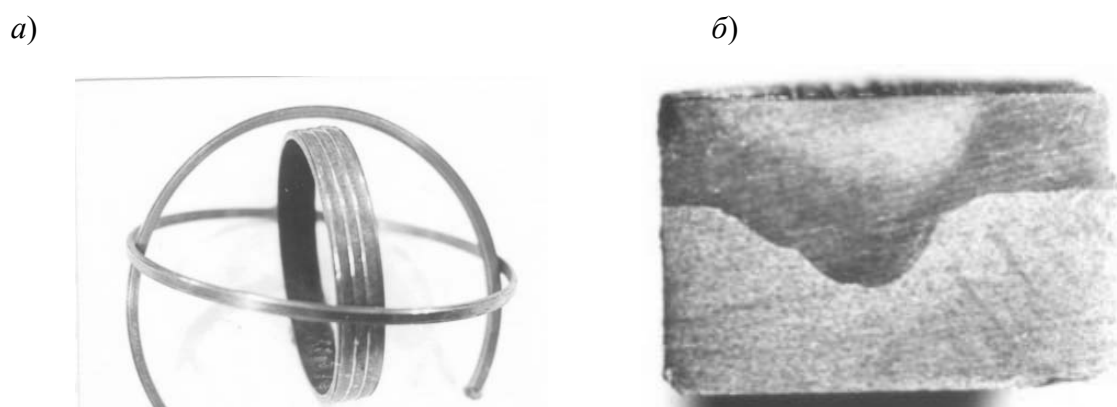


Рис. 4. Внешний вид заготовки после электронно-лучевой наплавки бронзы БрХ08 (а) и макрошлиф полученного соединения бронзы со сталью (б)

Электронно-лучевая сварка комбинированных конструкций из разнородных сталей и сплавов.

В настоящее время самое широкое применение в электромагнитных устройствах находят роторы, отдельные элементы которых изготавливаются из разнородных сталей. На эксплуатационные свойства таких роторов значительное влияние оказывают выбор материалов и свойства соединяемых элементов конструкции. Конструкция роторов в этом случае чаще всего состоит из чередующихся ферро- и парамагнитных элементов, соединенных в единое целое, с весьма высокими требованиями к качеству и стабильности получаемых соединений. Помимо высокой прочности, такие соединения должны иметь четкие границы раздела ферро- и парамагнитных элементов.

Для изготовления биметаллических деталей роторов могут быть использованы различные способы: дуговая сварка или наплавка, пайка, наплавка расплавленным присадочным сплавом, горячее изостатическое прессование и некоторые др. Основными недостатками этих способов являются либо низкая прочность соединений, либо достаточно большие размеры переходных зон от магнитного элемента к немагнитному, либо ограниченное количество пар соединяемых материалов. Все эти недостатки могут быть устранены путем

использования электронно-лучевой сварки, которая обеспечивает незначительные деформации изделий, минимальную зону термического влияния и минимальный объем переплавленного металла, а также прочность, близкую к прочности основных материалов.

Специалистами научно-производственного центра кафедры «Технологии металлов» разработана технология электронно-лучевой сварки, применяемая для изготовления биметаллических деталей роторов. Данная технология позволяет обеспечить получение изделий высокого качества благодаря исключению образования трещин, пор и других дефектов, достижению необходимой степени проплавления кромок, ограниченному развитию химической и структурной неоднородности в металле шва и зоне термического влияния, а также снижению уровня дополнительных остаточных напряжений, которые не снимаются последующей термической обработкой. На рис. 5 показан внешний вид биметаллических роторов, для изготовления которых применялась электронно-лучевая сварка: из стали 13X12H2M2BФАБ (ЭП517) и сплава ХН36ТЗБЗКЗЮ2 (ВУС-17) (см. рис. 5, а) и из стали 02X12К12Д2 (ДИ48) и сплава ХН40МТЮБР (ДИ49) (см. рис. 5, б).

а)



б)



Рис. 5. Биметаллические роторы, изготовленные с применением электронно-лучевой сварки: а – из стали 13X12H2M2BФАБ (ЭП517) и сплава ХН36ТЗБЗКЗЮ2 (ВУС-17); б – из стали 02X12К12Д2 (ДИ48) и сплава ХН40МТЮБР (ДИ49)

Заключение. Использование электронно-лучевых технологий при изготовлении комбинированных конструкций в сравнении с традиционными способами сварки и наплавки является крайне перспективным, т. к. позволяет добиться значительного улучшения эксплуатационных свойств изделий из разнородных материалов, а также повышения ряда экономических показателей. Однако внедрение электронно-лучевых технологий в промышленное производство сдерживается в силу ряда причин, и прежде всего из-за отсутствия надежных методов управления качеством получаемых сварных соединений.

E-mail: reginarodyakina@mail.ru.