



УДК 621.791.923

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРГАНИЗОВАННЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

DEVELOPMENT OF FUNCTIONALLY ORGANIZED COMPOSITIONS FOR FRICTION UNITS OF CENTRIFUGAL PUMPS IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

Михеев Роман Сергеевич

доктор технических наук, профессор,
МГТУ им. Н.Э. Баумана
mikheev.roman@mail.ru

Калашников Игорь Евгеньевич

доктор технических наук,
ведущий научный сотрудник,
ИМЕТ РАН
kalash2605@mail.ru

Быков Павел Андреевич

научный сотрудник,
ИМЕТ РАН
pavel_imet@mail.ru

Кобелева Любовь Ивановна

кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
ИМЕТ РАН
likob@mail.ru

Аннотация. Для изготовления функционально-организованных композиций, представляющих собой сталеалюминиевые слоистые соединения, были опробованы твердо- и жидкофазные процессы дуговой и фрикционной наплавки. Показано влияние технологии изготовления на состав и строение диффузионной зоны, формирующейся по границе раздела между алюминиевым покрытием и стальной подложкой.

Ключевые слова: сталеалюминиевые соединения, дуговая наплавка, фрикционная наплавка, диффузионная зона.

Mikheev Roman Sergeevich

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Bauman Moscow State Technical University
mikheev.roman@mail.ru

Kalashnikov Igor Evgenevich

Doctor of Technical Sciences,
Leading Researcher,
Baikov Institute of Metallurgy
and Materials Science RAS
kalash2605@mail.ru

Bykov Pavel Andreevich

Researcher,
Baikov Institute of Metallurgy
and Materials Science RAS
pavel_imet@mail.ru

Kobeleva Lubov Ivanovna

PhD, Leading Researcher,
Baikov Institute of Metallurgy
and Materials Science RAS
likob@mail.ru

Annotation. The solid and liquid-phase processes of arc and friction surfacing were tested for the manufacture of functionally organized compositions, which were steel-aluminum layered joints. The influence of manufacturing technology on the composition and structure of the diffusion zone, which was formed along the interface between the aluminum coating and the steel substrate, was shown.

Keywords: steel-aluminum joints, arc surfacing; friction surfacing process, diffusion zone.

Широко применяемые в нефтегазовой отрасли центробежные насосы представляют собой класс насосных установок, работа которых обусловлена движущей центробежной силой [1]. При этом одним из важных конструктивных элементов центробежных насосов, во многом определяющим их эксплуатационные характеристики, является упорный подшипник скольжения [1, 2]. Он состоит из сегментов, представляющих собой стальное основание с нанесенным на его поверхность антифрикционным покрытием из сплавов на основе алюминия. Подобная функционально-организованная композиция кроме высокого уровня триботехнических характеристик обладает жаропрочностью и твердостью сталей, а также малой плотностью и высокой теплопроводностью сплавов алюминия. Однако, адгезионная прочность функционально-организованной композиции во многом определяется строением и структурой сформированного на границе раздела сталь-алюминий диффузионного слоя, образованного интерметаллидами FeхAl_y [3].

В настоящее время для изготовления функционально-организованных композиций путем нанесения на стальные подложки покрытий из сплавов алюминия применяют технологические процессы, характеризующиеся разными температурно-временными условиями [3]. Рациональный выбор технологического процесса в значительной степени определяет кинетику образования диффузионной зоны на границе раздела. Поэтому изучение закономерностей образования диффузионного слоя, наряду с исследованием возможностей воздействия на его строение и структуру имеют ключевое значение для получения функционально-организованных сталеалюминиевых композиций, обладающих наилучшим сочетанием свойств.



В настоящей работе для формирования покрытий на подложках толщиной 3 мм из низкоуглеродистой качественной стали применяли процессы дуговой и фрикционной наплавки (рис. 1). Выбор вышеуказанных технологических процессов, отличающихся по состоянию вещества: в жидкой или твердой фазе, обусловлен с одной стороны наибольшим промышленным внедрением дуговой наплавки, а с другой стороны отсутствием необходимости применения внешних источников нагрева при реализации процесса фрикционной наплавки. Составы наплавочных материалов из чистого алюминия марки А5 по ГОСТ 4784 с малым содержанием легирующих элементов были выбраны с целью обеспечения возможности оценки процесса образования, а также состава и структуры диффузионной зоны границы раздела сталь-алюминий при отсутствии других химических элементов.

Процесс дуговой наплавки осуществляли на специализированном сварочном оборудовании TransPuls Synergic 2700, Fronius по технологии «холодного каплепереноса», обеспечивающей минимальное тепловложение для предотвращения активного роста интерметаллидов системы Fe-Al [11]. Алюминиевые покрытия наносили с применением наплавочной проволоки марки Св-А5 диаметром 1,2 мм при следующих рекомендованных параметрах режима: ток импульса – 150 А; базовый ток – 40 А; напряжение – 18 В; скорость наплавки – 0,5 м/мин [4]. Предварительно для улучшения смачивания алюминиевым расплавом на поверхность стальных пластин методом горячего цинкования нанесли цинковое покрытие, которое полностью испарялось в процессе дуговой наплавки.

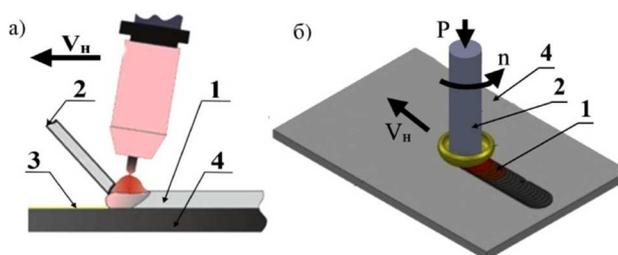


Рисунок 1 – Схема процессов дуговой (а) и фрикционной (б) наплавки. Цифрами обозначены: 1 – наплавленный слой; 2 – наплавочный материал; 3 – технологический слой цинка; 4 – подложка. Буквами обозначены: V_n – скорость наплавки; P – осевое усилие; n – частота вращения расходуемого стержня

Фрикционную наплавку проводили на экспериментальной установке, изготовленной на базе вертикально-фрезерного станка. Диаметр наплавляемого стержня из чистого алюминия марки А5 составлял 18 мм. Технологические параметры процесса фрикционной наплавки: давление в зоне соединения – 10 МПа; частота вращения наплавляемого стержня – 2160 об/мин; продольная линейная скорость перемещения наплавляемого стержня – 82 мм/мин, обеспечивающие формирование сварного соединения, были выбраны согласно результатам работы [5]. Для обеспечения стабильности качества наплавленного покрытия предварительно проводили комплексную обработку поверхности стальной подложки механическим и химическим способами.

Проводили измерения и оценку геометрических размеров наплавленных покрытий. Для исследования состава и структуры расположенной между подложкой и наплавленными покрытиями диффузионной зоны применяли средства оптической и электронной микроскопии, а также микрорентгено-спектрального анализа (МРСА).

Определено, что валики, полученные процессом дуговой наплавки, обладают гладкой поверхностью без видимых дефектов и характеризуются следующими геометрическими размерами: высота – до 4 мм; ширина – до 8 мм (рис. 2, а). На границе раздела между стальной подложкой и алюминиевым покрытием сформирован сплошной интерметаллидный слой переменной толщиной от 4 до 10 мкм. Причем в его составе со стороны наплавленного покрытия согласно результатам МРСА преимущественно присутствуют химические соединения на основе алюминия $FeAl_3$ и Fe_2Al_5 . В то время, как интерметаллиды на основе железа Fe_2Al_3 , $FeAl$, Fe_3Al располагаются со стороны стальной подложки и представляют собой столбчатые кристаллиты, характеризующиеся формой языкообразных выростов в направлении стали.

Показано, что процесс фрикционной наплавки позволяет получать на стальной подложке за один проход валики толщина которых не превышает 2 мм, а среднее значение ширины составляет 26 мм. Несмотря на характерные для процесса фрикционной наплавки относительно низкие температуры нагрева, значения которых не превышают температуру плавления алюминия, по всей границе раздела между стальной подложкой и алюминиевым покрытием формируется сплошной слой интерметаллидов толщиной не более 2 мм. По своему составу согласно результатам МРСА он представляет собой соединения системы Fe-Al разной стехиометрии, расположенные аналогично выше рассмотренным.



Таким образом, несмотря на то, что опробованные технологические процессы не позволяют полностью предотвратить формирование интерметаллидов системы Fe-Al и исключить образования диффузионной зоны на границе раздела сталь-алюминий, они оказывают существенное влияние на их состав и строение. Минимальными значениями средней толщины интерметаллидного слоя обладают функционально-организованные сталеалюминиевые композиции, полученные процессом фрикционной наплавки. Это связано с меньшими по сравнению с дуговой наплавкой температурами нагрева границы раздела, ограничивающими диффузионное взаимодействие между алюминием и железом. Дополнительным фактором, оказывающим влияние на формирование интерметаллидного слоя в процессе фрикционной наплавки является интенсивное механическое воздействие, оказываемое вращающимся стержнем из наплавочного материала, приводящее к развитию механизмов динамической рекристаллизации [6]. Следствием подобного процесса наряду с дроблением и измельчением интерметаллидов является образование новых зерен формирующих диффузионный слой малой толщины.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-29-00366).

Литература:

1. Центробежные насосы в системе сбора, подготовки, магистрального транспорта нефти / А.Г. Гумеров [и др.]. – М. : Недра-Бизнесцентр, 1999. – 295 с.
2. Магнитный метод диагностики насосного оборудования нефтяных промыслов / В.А. Петров [и др.] // Успехи современной науки. – 2017. – № 4. – С. 232–236.
3. Рябов В.Р. Применение биметаллических и армированных сталеалюминиевых соединений. – М. : Металлургия, 1975. – 283 с.
4. The arc characteristics and metal transfer behaviour of cold metal transfer and its use in joining aluminium to zinc-coated steel / H.T. Zhang [et al.] // Materials Science and Engineering. – 2009. – Vol. 499. – № 1–2. – P. 111–113.
5. Mikheev R.S. Application of the friction surfacing process for the production of functional gradient layered composition // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1990. – № 012036. – P. 1–6.
6. Badheka K., Badheka V. Friction surfacing of aluminium on steel: an experimental approach // Materials today: Proceedings. – 2017. – Vol. 4. – № 9. – P. 9937–9941.

References:

1. Centrifugal pumps in the system of collection, preparation, main transport of oil / A.G. Gumerov [et al.]. – M. : Nedra-Bisnescenter, 1999. – 295 p.
2. Magnetic method for diagnosing pumping equipment in oil fields / V.A. Petrov [et al.] // Uspehi sovremennoj nauki. – 2017. – № 4. – P. 232–236.
3. Ryabov V.R. Application of bimetallic and reinforced steel-aluminum joints. – M. : Metallurgija, 1975. – 283 p.
4. The arc characteristics and metal transfer behaviour of cold metal transfer and its use in joining aluminium to zinc-coated steel / H.T. Zhang [et al.] // Materials Science and Engineering. – 2009. – Vol. 499. – № 1–2. – P. 111–113.
5. Mikheev R.S. Application of the friction surfacing process for the production of functional gradient layered composition // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1990. – № 012036. – P. 1–6.
6. Badheka K., Badheka V. Friction surfacing of aluminium on steel: an experimental approach // Materials today: Proceedings. – 2017. – Vol. 4. – № 9. – P. 9937–9941.