

11. Поляков, О.В. Влияние минерализации раствора на разложение его компонентов в условиях разрядного электрорадиолиза / О.В. Поляков, А.М. Бадалян, Л.Ф. Бахтурова // Химия в интересах устойчивого развития. – 2005. – Т. 13. – С. 633–639.

12. Григорьев, А.И. Механизм развития неустойчивости заряженной поверхности жидкости / А.И. Григорьев, О.А. Григорьев, С.О. Ширяева // Журнал технической физики. – 1992. – Т. 62. – Вып. 9. – С. 13–21.

13. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов: в 2 т. / И.В. Суминов [и др.]; под общ. ред. И.В. Суминова. – М.: Техносфера, 2011. – Т. 1. – 464 с.

14. Янковский, И.Н. Электроимпульсное полирование коррозионностойких и углеродистых конструкционных сталей с обеспечением заданного комплекса свойств обрабатываемых поверхностей: дис. ...канд. техн. наук: 05.03.01 / И.Н. Янковский. – Минск, 2008. – 187 с.

15. Исследование физико-химических процессов на границе электролит-металл в условиях мощных электрических полей и знакопеременных гидродинамических потоков и создание процессов формирования и обработки поверхностей металлических изделий сложной конфигурации: отчет о НИР (заключ.) / БНТУ; рук. темы А.А. Кособуцкий. – Минск, 2008. – 109 с. - № ГР 20062292.

УДК 621.791.92

Спиридонов Н.В., Кудина А.В., Кураш В.В.

***ПОЛУЧЕНИЕ ИЗНОСО-КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ МЕТАЛЛОПОКРЫТИЙ ДЕТАЛЕЙ
МАШИН МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ С ПРИСАДКОЙ ИЗ
КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА***

Белорусский национальный технический университет

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Минск, Беларусь

При коррозионно-механическом изнашивании деталей машин, агрегатов и механизмов наиболее интенсивно подвергаются износу поверхности трения по причине протекания в контактных зонах коррозионных процессов, существенная роль в которых принадлежит биологическому фактору, инициирующему и ускоряющему коррозионное разрыхление и разрушение поверхностного слоя. Для защиты металлоповерхностей деталей узлов трения от коррозионного разрыхления и интенсивного изнашивания предложен новый состав износостойкого металлопокрытия, получаемый методом электродуговой наплавки.

Отечественный и зарубежный опыт получения защитных металлопокрытий показывают, что для повышения износ- и коррозионной стойкости поверхностей деталей машин широко применяются композиционные материалы. Это объясняется простотой технологий их получения и нанесения, экономичностью методов и, как правило, они не связаны с расходом дефицитных материалов. Известными способами получения металлопокрытий, нашедшими промышленное применение, являются химическое смешивание, разложение смеси солей, водородное восстановление, химическое осаждение, внутреннее окисление и механическое легирование. Большинство из этих способов являются дорогостоящими и экологически небезопасными. В связи с этим большой интерес представляет процесс, основанный на реакционном механическом легировании, предполагающем взаимодействие между компонентами и образование упрочняющих фаз на стадии обработки порошковой смеси при нанесении металлопокрытия. Методы легирования и способы нанесения композиционных материалов взаимосвязаны – выбранный способ получения металлопокрытия, как правило, диктует рациональный метод легирования и, наоборот, эффективный метод легирования требует применения соответствующего способа нанесения композиционного материала. При электродуговой наплавке сплошным проволочным электродом с введением композиционного материала, химический состав наплавленного металла определяется концентрацией легирующих элементов в основе, электродной проволоке и порошковой присадке. В композиционном слое металл основы и металл проволоки образуют матричный сплав, в

который вплавлены твердосплавные частицы присадки. При наплавке гомогенного покрытия все три составные части перемешиваются, образуя монолитный слой. При нанесении износостойких слоев, состоящих из твердых частиц, распределенных в более мягкой матрице, особое внимание уделяют материалу матричного слоя. Он должен иметь высокую прочность, хорошо удерживать частицы присадки в покрытии, препятствовать чрезмерному их растворению, быть химически стабильным по отношению к твердой составляющей и соответствовать требованию термомеханической совместимости. Поэтому целесообразно использовать малоуглеродистые проволоки для получения матрицы при дуговой наплавке твердых, износостойких слоев. Использование в качестве присадочного материала порошков из ферросплавов, обеспечивает получение износостойкого наплавленного металла, а высокое содержание в нем хрома (до 60%) и углерода (до 8%) дает возможность в широких пределах изменять концентрацию легирующих элементов и получать износостойкие покрытия с заданными физико-механическими характеристиками. Кинетика и результаты исследований коррозионно-механического изнашивания трибо-поверхностей деталей машин и механизмов [1] показывают, что одним из существенных разрушающих факторов поверхностей трения является коррозия (электрохимическая, химическая, водородная и биокоррозия), протекающая в зоне контакта и разрыхляющая поверхностный слой металла, что интенсифицирует процессы изнашивания.

Эффективным средством повышения износостойкости трибоповерхностей деталей машин и механизмов при воздействии коррозионных факторов является применение коррозионностойких металлопокрытий. Коррозионностойкие стали и сплавы металлов являются важнейшим конструкционным материалом в машиностроении и, при современном развитии техники, к ним предъявляются всё более высокие требования. Получаемые в металлургии коррозионностойкие стали разрабатывают, в основном, для службы в электролитах, т.е. в условиях воздействия электрохимической коррозии, но, в отдельных случаях, они могут успешно сопротивляться и химической коррозии. Поэтому, при протекании в контактирующих поверхностях трения процессов наводороживания или биокоррозии технически и экономически целесообразно создание специальных материалов для защитно-упрочняющих металлопокрытий, что представляет собой самостоятельную проблему. В основе формирования любого композиционного металлопокрытия электродуговой наплавкой с присадочными материалами лежит процесс массообмена между поверхностью изделия основы и компонентами наносимого материала - электрода и композита. Так как скорость протекания массоотдачи мала, то затрудняется контроль и управление процессом, что может иногда привести к снижению качества формируемых покрытий. В этой связи возникает необходимость в выборе как способа электродуговой наплавки, так и систем управления, а также контроля за процессами нанесения защитных покрытий, что существенно повышает эффективность и качество получаемой поверхности. Высокие физико-механические свойства наплавленного слоя целесообразно получать легированием металлопорошками сварочной ванны с подачей ультразвуковых колебаний на плавящийся электрод. Такая технология весьма эффективна для получения высококачественных металлопокрытий с высокими физико-механическими свойствами. Легирование железа хромом или алюминием способствует повышению стойкости к окислению, а введение небольшого количества легирующих добавок меди и никеля способствует пассивации металлов. Основными признаками, по которым оценивается метод легирования электродуговой наплавкой, являются: точность (надёжность) получения заданного химического состава наплавленного металла при возможных колебаниях режимов наплавки, однородность состава по объёму наплавленного слоя, экономичность и удобство применения метода легирования. Что касается экономичности метода легирования, то здесь необходимо учитывать целесообразность применения тех или иных легирующих элементов для данного объекта наплавки и потери этих элементов при выборе метода легирования. В настоящее время в качестве легирующего присадочного материала при электродуговой наплавке металлоповерхностей особенно перспективны порошковые сплавы и проволока, а также металлокерамическая и порошковая лента. Однако, применение этих сравнительно дорогостоящих материалов не всегда оправдано по ряду технических, технологических и экономических причин. Поэтому для широкого применения легирующих материалов постоянно требуется разработка новых композиционных составов и совершенствование

технологии их нанесения. Для получения износостойкого металлопокрытия разработан новый способ нанесения на поверхность детали легированного мелкозернистого металлопокрытия [2] методом электродуговой наплавки плавящимся электродом в среде защитного газа с применением ультразвука (УЗК), где в качестве легирующей присадки применяется новый состав износостойкой металлопорошковой смеси [3], усиливающий защитные свойства наплавленного слоя металла к биокоррозии и наводороживанию. Разработанный композиционный состав износостойкого металлопокрытия, получаемого способом электродуговой наплавки сварочной проволокой в среде защитного газа с порошковым присадочным материалом, придаёт покрытию следующие физико-механические и антикоррозионные свойства [3,4]:

1. Легирование расплава ванны металла предлагаемым составом упрочняющей присадочной смеси приводит к значительному увеличению количества упрочняющих фаз. Формируется сложное гетерофазное строение покрытия (бориды типа CrB, Cr₂B, NiB, Ni₃B₂, карбобориды B₈C, Fe₂₃(CB)₆, силициды типа CrSi₂, Mn₂₇Si₄₇, Mn₅Si₂ и др.). Наличие в покрытии боридов, карбоборидов и силицидов обеспечивает получение твердости наплавленного слоя 5... 55 HRC.

2. Включение в состав металлопокрытия меди (3...5%, масс.) позволяет формировать слой металлоповерхности с биоцидными свойствами, а повышенная износостойкость покрытия обеспечивается карбидно-боридными фазами распределенными в мягкой железо-медно-никелевой матрице. Медная компонента образует на поверхности окислы меди, которые обладают биоцидными свойствами и подавляют активность биологического фактора, препятствуя зарождению и интенсификации биокоррозионных процессов.

3. Введение в состав упрочняющей смеси хрома и алюминия способствует повышению стойкости покрытия к окислению, а сплавление с небольшими количествами меди и никеля снижают растворение водорода в стали, что повышает стойкость покрытия к наводороживанию. Кальций связывает азот, кислород и серу в стойкие тугоплавкие соединения, рафинирует и модифицирует наплавленный металл, в результате чего увеличивается стойкость против образования кристаллизационных трещин.

Более однородная структура наплавленного слоя формируется порошковой присадкой зернистостью 400...600 мкм. При структурообразовании происходит заполнение матричным расплавом пространства вокруг твердых частичек порошкового материала, что способствует установлению в структуре прочных атомных и когезионных связей, устойчивому размещению твердых частиц порошка в мягкой матричной основе. Образующиеся на поверхности покрытия кислоты и химически активные радикалы биологического происхождения способствуют образованию окислов меди, которые являются ядами для большинства микроорганизмов и тормозят развитие биокоррозионных процессов. Процентное содержание меди в металлопорошковой композиции установлено из условия обеспечения высокой износостойкости наплавленного слоя. Для проведения исследований готовились экспериментальные образцы следующим образом: на пластины из стали 45 ГОСТ 380-2005, размером 70x25x12мм электродуговой наплавкой плавящимся электродом из проволоки Св-08Г2С наносились металлопокрытия запатентованным методом с одновременным введением в расплав металла порошковой присадочной смеси разработанного состава [2,3]. Затем из наплавленных покрытий вырезались образцы размером 12x12x4мм для проведения испытаний на изнашивание, причём, толщина 4мм соответствовала толщине наплавленного слоя. Из полученных образцов формировали 5 групп. Образцы каждой группы готовились таким образом, чтобы поверхность каждого образца представляла собой зону удаленную от поверхности наплавки вглубь наплавленных валиков соответственно на 0,0; 1,0; 1,5; 2,0 и 2,5 мм. Послойное изготовление образцов осуществлялось с целью последующей проверки износостойкости наплавленного металлопокрытия по глубине. Изнашивание образцов проводили на машине трения СМТ -70 согласно методикам для проведения испытаний материалов на износостойкость при трении по ГОСТ 23.207-79 и ГОСТ 23.211-80 с подачей в зону трения следующих композиций:

- абразивная композиция состояла из кварцевого песка по ГОСТ 2138-56 фракции до 15 мкм и индустриального масла И-Г-А-32 ГОСТ 17479.4-87;

- биокomпозиция, содержащая штаммы микроорганизмов, вызывающих биокоррозионные повреждения металла соответственно для кислой и щелочной среды.

Величина износа определялась на профилографе-профилометре модели 252 по глубине вытертой канавки. Результаты испытаний на изнашивание нового металлопокрытия для электродуговой наплавки приведены в таблице. Полученные результаты показывают, что применение для трибоповерхностей деталей машин и механизмов нового состава износостойкого металлопокрытия позволяет в 1,7...1,9 раз снизить интенсивность изнашивания трибоповерхностей деталей машин и обеспечивает 6...7 класс износостойкости, что, безусловно, влечёт за собой увеличение ресурса не только узлов и агрегатов, но и машин в целом.

Исследования наплавленных покрытий на коррозионностойкость проводились по методикам в соответствии ГОСТ 9.803-88 "Методы испытаний на стойкость к воздействию биологических факторов" и ГОСТ 9.903-85 "Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости". В результате исследований и анализа полученных результатов выявлены следующие общие закономерности коррозионного взаимодействия слоя металла наплавленной поверхности с контактными средами:

1. В начальный период взаимодействия поверхностных сплавов с биокоррозионными средами и электролитами происходит одновременный процесс ухода в раствор наименее стойких компонентов сплава, в результате чего формируется коррозионно-защитная структура и пассивация сплавов за счет образования хемосорбционных связей, а затем и фазовых окислов, преимущественно Cr_2O_3 , CuO , NiO , NiCr_2O_4 .

2. В дальнейшем образуются гидраты окиси хрома и никеля. Защитные свойства образующихся вторичных структур в первую очередь определяются гетерогенностью и дисперсностью сплава. В покрытиях никель не текстурирован и растворяется по всем кристаллографическим плоскостям равномерно.

3. Поверхность наплавленного слоя покрывается плёнкой из окиси и закиси меди, которая тормозит процессы биокоррозионного разрушения наплавленного слоя металла.

Распределение твердости в поверхностных зонах, наплавленных с присадкой покрытий, представлено на рисунке. Несколько большая твердость валика, наплавленного с металлопорошковой присадкой при воздействии УЗК объясняется формированием более мелкозернистой структуры под воздействием поля УЗК [5]. Понижение твердости металла в зоне термического влияния объясняется снижением температурного градиента за счет введения в расплав порошковой присадки, а также поглощением кристаллизующимся металлом упругой энергии диспергированных частиц электродного металла и отсутствием твердых фракций присадки.

I – наплавленный металл; II – зона термического влияния; III – основной металл

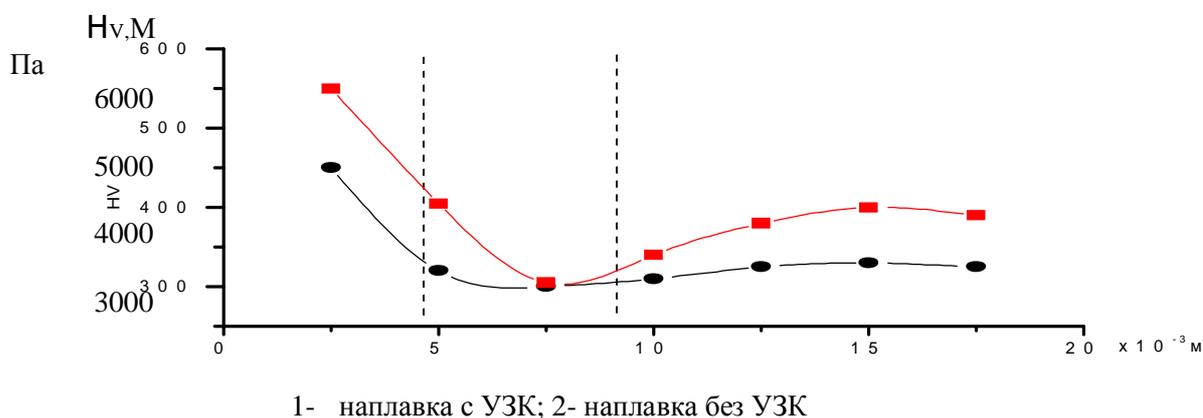


Рис. - Распределение твердости в зонах наплавленного покрытия (Св-08Г2С+металлопорошок)

Исследования структуры наплавленных образцов показали, что структура покрытий, полученных без присадочного материала и УЗК имеет крупнозернистое строение с металлургическими дефектами, в то время как структура слоя металла, наплавленного с присадкой в ультразвуковом поле формируется плотной и мелкозернистой [5]. Дробление капель плавящегося электрода ультразвуком и введение порошковой присадки способствует появлению дополнительных центров кристаллизации в расплаве металла сварочной ванны, кроме того, введение присадки уменьшает долю участия основного металла в формировании наплавленного валика, а всё это приводит к изменению характера структуры и формы зерна, уменьшению его величины, устранению столбчатости и образованию равноосного зерна. Состав присадки влияет на фазовые структурообразования наплавленного слоя, которые, в дальнейшем, определяют его эксплуатационные характеристики. Введение хрома и дробление электродных капель расплавленного металла ультразвуком способствуют измельчению зерна. Введение меди приводит к образованию медно-никелевых сплавов, что объясняется способностью меди образовывать с никелем непрерывный ряд растворов в жидком и твердом состоянии. Избыточные карбиды препятствуют росту аустенитного зерна. Поэтому, при наличии хотя бы небольшого количества нерастворимых карбидов, сохраняется мелкозернистое строение до весьма высоких температур. Никель замедляет процесс превращения аустенита. Карбидообразующие элементы вносят количественные и качественные изменения в кинетику изотермического превращения. Бориды никеля и хрома, распределяясь в расплаве металла, образуют с ним в наплавленном слое твердосплавные включения в мягкой матричной основе. Медно-никелевые сплавы образуют медную сервовитную пленку при трении, которая тормозит процесс разрыхления и разрушения поверхностей. Пленка образуется на поверхности твердых составляющих сплава в результате механического выдавливания мягкой составляющей матрицы. Такая структура получается однородной, плотной, хорошо противостоит изнашиванию. Образующиеся на поверхности покрытия кислоты и агрессивные вещества биологического происхождения способствуют образованию окиси и закиси меди, которые являются ядами для большинства микроорганизмов, чем тормозят развитие биокоррозии. Сформированный состав металлопокрытия обладает низкой коррозионной проницаемостью – 0,10 - 0,13 мм/год [4], а известно, что металлы и сплавы с коррозионной проницаемостью менее 0,15 мм/год обладают высокой коррозионной стойкостью.

Выводы.

1. Результаты исследований показывают, что электродуговая наплавка металлоповерхностей плавящимся электродом в среде защитного газа с введением разработанного состава присадочного материала в сварочную ванну увеличивает твердость поверхности на 20...25 % и повышает долговечность в 2,1...2,3 раза.
2. Сформированный состав разработанного порошкового присадочного материала для электродуговой наплавки металлопокрытий проволокой Св-08Г2С в среде углекислого газа обладает низкой коррозионной проницаемостью – 0,10 - 0,13 мм/год, что ниже проницаемости коррозионностойких сталей и сплавов.
3. Введение в сварочную ванну металлопорошкового материала уменьшает долю участия основного металла в формировании наплавленного валика, а всё это приводит к изменению характера структуры и формы зерна, уменьшению его величины, устранению столбчатости и образованию равноосного зерна.
4. Разработанные композиционный состав металлопокрытия с высокими износ-коррозионностойкими свойствами и технология его нанесения в поле ультразвуковых колебаний позволяют повысить не только качество наплавленного покрытия, но и расширить технические возможности электродуговой наплавки поверхностей с применением ультразвука.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ивашко, В.С. Теоретические аспекты кинетики изнашивания поверхностей деталей машин и механизмов / В.С. Ивашко, В.В. Кураш, А.В. Кудина // Вестник Белорусского национального технического университета. Мн.: изд-во БНТУ, 2005г. – № 5.– С.59 – 63.
2. Кураш В.В. Способ нанесения на поверхность детали легированного мелкозернистого металлопокрытия : пат. № 16225 Республика Беларусь, С1, 2012.08.30, МПК В23К 9/04 (2006.0 / Кураш

В.В., Спиридонов Н.В., Кудина А.В.; заявитель – УО «БГАТУ». – а 20100538, заявлено 2010.04.09; зарегистрировано в Госреестре изобретений 2012.05.11.

3. Кураш В.В. Композиционный состав для электродуговой наплавки износостойкого покрытия : пат. № 15167 Республика Беларусь, С1, 2011.12.30, МПК В23К 9/04 (2006.0 / Кураш В.В., Лисай Н.К., Кудина А.В.; заявитель – УО «БГАТУ». – а 20100419, заявлено 2010.03.18; зарегистрировано в Госреестре изобретений 2011.08.11.

4. Кураш В.В. Исследование интенсивности изнашивания нового состава износостойкого металлопокрытия для трибоповерхностей деталей машин. /В.В.Кураш, А.В.Кудина, Ю.Т.Антонишин, А.В.Кривицкий // Агропанорама. Мн.: изд-во УО БГАТУ, 2012г. № 5. - С.13 - 17.

5. Спиридонов Н.В. Электродуговая наплавка металлоповерхностей колеблющимся электродом в среде защитного газа. / Спиридонов Н.В., Кудина А.В., Кураш В.В. // Наука и техника. Мн.: изд-во УО БНТУ, 2013г. № 4. – С. 3 – 8.

УДК 621.91.04

Данилов В.А., Данилов А.А.,

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕМ МНОГОГРАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ
ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ**

Белорусский национальный технический университет»

г. Минск, Беларусь

Полоцкий государственный университет

г. Новополоцк, Беларусь

Рассмотрены кинематический, геометрический и комбинированный способы обеспечения формы, количества, относительного расположения и конгруэнтности граней сложнопрофильных многогранных поверхностей при профилировании методами копирования, следа, обката и касания. Дана характеристика этих методов по управляемости формообразованием, показана роль кинематической и инструментальной подсистем обрабатывающей системы станка при реализации различных способов управления профилированием. Установлены рациональные пути управления профилированием многогранных поверхностей при продольном некруглом и полигональном точении, обработке инструментами с конструктивным перемещением режущих кромок для обеспечения точности и производительности формообразования.

Введение. Прогрессивным видом моментопередающих соединений в машинах, приборах, инструментальных системах и других устройствах являются профильные соединения, обладающие по сравнению с традиционными шлицевыми существенными эксплуатационными и технологическими преимуществами [1]. Одной из причин ограниченного их применения в отечественном машиностроении является нерешенность задач научно-технического и конструкторско-технологического обеспечения их производства [2]. К ним относится, в частности, задача управления формообразованием сложных (с неплоскими гранями) многогранных поверхностей для обеспечения требуемой точности и качества обработки.

Профилирование многогранных поверхностей деталей машин при формообразующей обработке резанием возможно методами копирования, следа, касания и обката, различающихся типом производящих элементов, формой их контакта и результатом взаимодействия с номинальной поверхностью, видом формообразования (полное или частичное) и другими существенными признаками [3]. С точки зрения реализации практическое значение имеет выявление и оценка методов управления формообразованием многогранных поверхностей для обеспечения требуемых параметров профиля, что важно при проектировании станочного оборудования и режущих инструментов, отладки процессов их обработки на станках иного технологического назначения.