

ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ НАПЛАВКА МЕТАЛЛОПОВЕРХНОСТЕЙ КОЛЕБЛЮЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В СРЕДЕ ЗАЩИТНОГО ГАЗА

*Докт. техн. наук, проф. СПИРИДОНОВ Н. В.¹⁾,
канд. техн. наук КУДИНА А. В.²⁾, канд. техн. наук, доц. КУРАШ В. В.²⁾*

¹⁾Белорусский национальный технический университет,

²⁾Белорусский государственный аграрный технический университет

При электродуговой наплавке металлоповерхностей важным элементом технологического процесса является каплеперенос расплавленного электродного металла. Известно [1–4], что получение высококачественного наплавленного слоя достигается за счет упорядоченного каплепереноса электродного металла. Характер плавления и переноса металла электрода зависит от соотношения сил, действующих на каплю на торце электрода. Основные из них: сила тяжести, сила поверхностного натяжения, электромагнитная сила, сила реактивного давления паров и нейтрализовавшихся на катоде ионов, электростатическая и аэродинамическая силы и др. Величины этих сил и направление их равнодействующей зависят от режима наплавки, полярности тока, состава электродного металла и газовой среды, состояния поверхности и диаметра наплавочной проволоки [2, 3].

При наплавке в среде защитных газов для получения качественной металлоповерхности необходимо обеспечивать капельный перенос металла с монотонным снижением размеров капель по мере возрастания силы тока. При достижении определенного значения тока, называемого критическим, размер капель резко уменьшается и перенос становится струйным. Материал электрода на свободном его конце расплавляется электрической дугой и джоулевой теплотой, выделяемой на электроде от прохождения по нему электротока. Реактивные силы плазменного потока сообщают движение капле на конце электрода. Сила сварочного тока, вылет и диаметр электрода определяют условие перехода от струйного переноса

к струйно-вращательному [4]. Электрическая дуга нагревает проволоку на вылете, а чтобы заставить дугу вращаться, необходимо повысить значение тока и увеличить вылет электрода. Добавка в смесь защитного газа гелия до 26 % увеличивает потенциал ионизации и его градиент, вследствие чего возрастают напряжение и энергия дуги, а плазменный поток становится более мощным и стабилизирует дугу. Стабильный столб плазмы четко ограничивает зону, в которой происходит перенос металла, и препятствует интенсивному разбрызгиванию электродного металла даже при высоких значениях тока. Перенос электродного металла при этих режимных параметрах становится струйно-вращательным. Разбрызгивание металла происходит в основном из-за случайного вылета за пределы наплавочного валика крупных капель и систематического выброса мелких капель, которые выбрасываются из ванны выделяющимся СО. Для снижения разбрызгивания металла используются технические решения, позволяющие придать концу электрода колебательные движения или методы, способствующие созданию плотной защитной газовой оболочки дугового пространства и сварочной ванны за счет воздействия на зону наплавки физическим полем. При этом получают валики с хорошим формированием наплавленной поверхности и удовлетворительными прочностными и пластическими свойствами [1, 3]. Электродуговая наплавка в смеси защитных газов электродной проволокой сплошного сечения в зависимости от характеристик защитного газа и выбранных технологических режи-

мов позволяет достичь различных вариантов переноса металла. Так, при применении электродной проволоки диаметром 1,6 мм, когда скорость ее подачи около 11 м/мин, происходит струйный перенос электродного металла, а при диаметре электрода 1,2 мм, увеличении скорости подачи до 50 м/мин, силе тока до 500 А тип каплепереноса становится струйно-вращательным [4]. Эффективность каплепереноса электродного металла и производительность наплавки заметно повышаются при придании плавающему электроду поперечных колебательных движений [1–3].

Поперечные колебания электрода способствуют изменению формы и структуры наплавленного слоя металла. Длина слоя уменьшается, а ширина увеличивается, что снижает пребывание жидкого металла в зоне перегрева и влияет на структуру зоны термического воздействия основного материала. Улучшению качества наплавленного слоя способствует и то, что при перемещении источника теплоты в крайнее положение температура металла в противоположной стороне слоя понижается, что повышает его поверхностное натяжение и вязкость. Благодаря этому возможно получение валиков с плоской верхней поверхностью, а это снижает величину припуска под последующую механическую обработку покрытий, причем в ряде случаев позволяет обходиться и без нее. Поперечные колебания благоприятно влияют и на структуру наплавленного металла. Известно [5], что при электродуговой и других видах наплавки металл наплавленного слоя состоит из столбчатых кристаллов – дендритов, расположенных перпендикулярно к линии оплавления основного металла. При этом аустенитные зерна основного металла по линии оплавления являются основой для растущих дендритов, из-за чего число и размеры последних определяются величиной и количеством этих зерен. Поэтому чем крупнее зерна основного металла на участке перегрева зоны термического влияния, тем большее сечение будут иметь столбчатые кристаллы. Уменьшая длину слоя жидкого металла за счет поперечных колебаний, можно сократить пребывание зоны перегрева. Это уменьшает величину зерна основного металла в зоне оплавления, а следовательно, способствует формированию мелкозернистой

структуры наплавленного металла. Известно также, что четкая ориентация дендритов способствует повышенной хрупкости наплавленного металла, в то время как колебания способствуют созданию прочной дезориентированной структуры наплавленной поверхности [5].

Поперечные колебания электрода можно получить различными физическими воздействиями: при помощи пневматических и механических колебательных механизмов, а также за счет потока инертного газа или применения ультразвукового поля. В настоящее время при широкополосовой наплавке металла часто применяются наплавочные головки с механизмом колебания электрода кривошипно-шатунного типа [1, 3]. В таких конструкциях наплавочных головок во время подачи проволоки производятся дополнительные колебательные перемещения ее в поперечном направлении, то есть осуществляется наплавка с поперечными колебаниями электрода заданной амплитуды. Для стабилизации дуги в технологический процесс наплавки заложен принцип обеспечения постоянства межэлектродного дугового пространства, напряжения горения дуги и тока сварки. Автоматическое поддержание постоянной величины межэлектродного пространства, равномерная подача электродной проволоки и перемещение поверхности наплавки создают равномерный каплеперенос и стабилизируют энергетическое состояние электрической дуги, что способствует ее продолжительному горению после зажигания.

Конструктивная схема, описание и принцип работы наплавочной головки с поперечными колебаниями электрода изложены в [3]. Наплавленные валики, формируемые наплавочной головкой с механизмом колебаний электрода кривошипно-шатунного типа, получаются без существенных дефектов, без образования холодных и горячих трещин, имеют строение литого металла с мелкозернистой структурой. Валики формируются плотными, удовлетворяют требованиям, предъявляемым к соединениям малоуглеродистых и низколегированных сталей и обладают повышенной износостойкостью. К преимуществам этих устройств относятся простота и надежность конструкции, удобство обслуживания, возможность регули-

рования амплитуды и частоты колебаний в самых широких пределах.

Однако такие технологии и устройства имеют и некоторые недостатки: наибольшая мгновенная погонная энергия соответствует крайнему положению электрода, а наименьшая – среднему. В крайних положениях в основной металл вводится 40 % всей теплоты одного цикла колебаний. Эта особенность обуславливает получение валика с уменьшенной по оси шва глубиной проплавления, при этом дендриты растут перпендикулярно наружной поверхности покрытий. Для сохранения постоянства глубины проплавления основного металла в крайних положениях электрода уменьшают скорость подачи электродной проволоки, а для этого необходимо создание специальных управляющих устройств.

Более рациональным представляется путь, при котором устранение указанных недостатков достигается соответствующим подбором способов и технологических режимов процесса наплавки поверхностей. В этой связи заслуживает внимания и дальнейшей разработки способ электродуговой наплавки металла с применением ультразвука (УЗК) [6] и устройство [7] для его реализации. Такой способ наплавки включает передачу ультразвуковых волн на электродную проволоку перпендикулярно ее оси и позволяет, не разрывая защитной газовой оболочки, подавать поперечные колебания непосредственно в зону наплавки, чтобы влиять на процесс кристаллообразования в жидком металле. За счет ограничения перемещения электрической дуги и дробления капель на мельчайшие частички происходит упорядоченный и направленный каплеперенос электродного металла. Диспергированные частички электродного металла, попадая в расплав основного металла, интенсифицируют процесс зародышеобразования кристаллов, чем способствуют формированию однородной мелкозернистой структуры с кристаллами правильной формы. При этом ультразвуковое воздействие повышает плотность и давление газовой оболочки, делает ее сплошной, без завихрений, что приводит к снижению разбрызгивания расплавленного металла. Все это позволяет формировать плотную, упорядоченную и мелкозернистую структуру металлопокрытия при наплавке плавящимся электродом

в среде защитного газа [6]. Кроме того, такая технология дает возможность осуществлять наплавку с одновременным легированием наплавленного слоя.

Легирование наплавляемой поверхности осуществляют вдуванием металлопорошкового присадочного материала (ППМ) под оболочку защитного газа в зону наплавки, находящуюся в поле ультразвуковых колебаний. Частички легирующего порошка, получив колебательную энергию ультразвукового поля, поступают в сварочную ванну и передают полученную энергию расплаву металла. При этом они становятся центрами зародышеобразования кристаллов, чем значительно увеличивают их число, а это создает благоприятные условия для кристаллизации раствора и формирования легированного металлопокрытия мелкозернистой структуры. Такой способ электродуговой наплавки металлоповерхностей обеспечивает получение легированных, упрочняющих металлопокрытий с однородной мелкозернистой структурой, повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами наплавленных слоев металла [8].

Схема технологической оснастки для наплавки с ультразвуком и легирующей металлопорошковой присадкой в среде защитного газа представлена на рис. 1. Оснастка включает устройство передачи УЗК на электрод с пакетом пьезокерамических пластин, которое является основным рабочим органом технологической оснастки и питание которого осуществляется от ультразвукового генератора.

Технологическая оснастка работает следующим образом. Устройство передачи УЗК на электродную проволоку передает от генератора через волновод-концентратор продольные ультразвуковые колебания тоководу, установленному в наплавочной (сварочной) головке. В направляющей трубке токовода возбуждаются поперечные колебания, которые передаются токосъемнику и наплавочной (сварочной) проволоке. Колебания электродной проволоки вызывают диспергирование капель расплава электрода на мелкие частицы, которые, получив колебательные движения, попадают в сварочную ванну и, став дополнительными центрами кристаллизации, способствуют образованию мелкой однородной структуры.

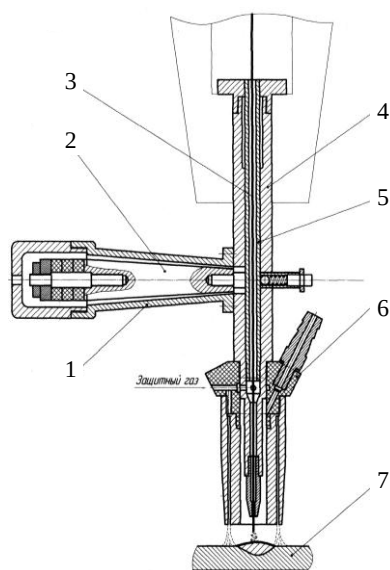


Рис. 1. Схема технологической оснастки для наплавки с ультразвуком и металлопорошковой присадкой:

- 1 – устройство передачи УЗК на электрод;
- 2 – волновод-концентратор; 3 – электродная проволока;
- 4 – корпус наплавочной головки; 5 – токовод;
- 6 – устройство для подачи газопорошковой смеси;
- 7 – наплавляемая поверхность

Необходимая статическая нагрузка на рабочую часть ультразвукового преобразователя и амплитуда поперечных колебаний электрода регулируются подпружиненной массой и шпилькой с контргайкой. Пружина и масса подбираются таким образом, чтобы обеспечить виброударный режим работы ультразвуковой системы. Регулирование амплитуды поперечных колебаний электрода позволяет управлять процессами диспергирования и каплепереноса электродного металла в сварочную ванну. В такой технологической оснастке передача УЗК на электрод осуществляется непрерывно, диспергирование и каплеперенос электродного металла в расплав сварочной ванны протекают стабильно, структура наплавленных валиков получается однородной, мелкозернистой, без видимых дефектов. Микротвердость наплавленных поверхностей получается в 1,2–1,3 раза больше, чем при наплавке без применения УЗК.

На рис. 2 представлена структура слоя металла в переходной зоне, наплавленного проволокой Св-08Г2С с металлопорошковой присадкой без и с применением ультразвука, при режимах наплавки: силе тока $I = 200\text{--}250\text{ А}$, напряжении дуги $U_d = 23\text{--}24\text{ В}$, подаче металлопорошковой смеси в зону наплавки $Q_{\text{пшм}} = 0,8\text{ г/с}$.

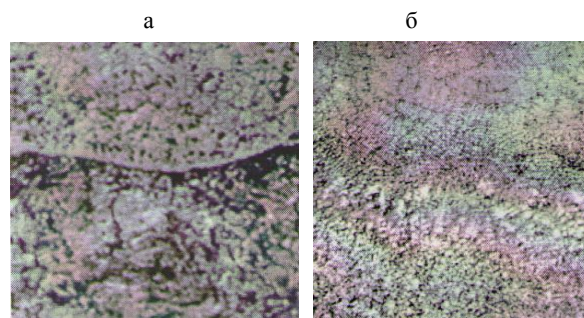


Рис. 2. Структура переходной зоны наплавленного металлопокрытия, $\times 500$: а – без применения УЗК; б – с применением УЗК ($A = 12\text{--}15\text{ мкм}$, $f = 24\text{ кГц}$)

Сравнительный анализ полученных структур показывает, что зернистость, плотность и качество слоя, наплавленного с применением УЗК (рис. 2б), значительно больше, чем слоя, наплавленного без УЗК. Причем при наплавке с ультразвуковыми колебаниями практически отсутствует граница раздела слоев (покрытие – основа), что характеризует их высокую сцепляемость и плавный градиент свойств. Наиболее существенным эффектом наплавки, наблюдаемым при обработке кристаллизующегося металла ультразвуком, является измельчение зерна за счет диспергирования капель электродного металла [8–10]. С повышением интенсивности ультразвука скорость диспергирования возрастает. Процесс кристаллизации начинается с возникновения в жидкой фазе металла небольших объемов зародышей твердой фазы (центров кристаллизации) и продолжается с последующим их ростом.

Ультразвуковые колебания активно способствуют процессам зародышеобразования кристаллов, препятствуют их росту и повышают однородность структуры. При введении в расплав металла легирующего ППМ частицы порошка под воздействием ультразвука находятся во взвешенном состоянии, смачиваются расплавом и, равномерно распределяясь в его объеме, становятся дополнительными центрами кристаллизации. При затвердевании эта металлотусупензия фиксируется, образуя при кристаллизации композиционный сплав типа механической смеси с разнообразными свойствами: антифрикционными, абразивными, износостойкими, коррозионностойкими и другими. При этом достигается увеличение производительности процесса электродуговой наплавки и повышение износостойкости наплавленного слоя в 1,5–1,7 раза [8, 11, 12].

ВЫВОДЫ

1. Анализ современных направлений развития технологий наплавки металлоповерхностей плавящимся электродом в среде защитных газов показывает, что технология, технологическое оборудование и производство развиваются по пути механизации и автоматизации техпроцессов наплавки с применением многокомпонентных смесей защитных газов, что способствует улучшению структуры наплавленного слоя и повышению его качества.

2. Выполнение наплавки колеблющимся электродом в среде защитного газа позволяет обеспечить упорядоченный каплеперенос расплавленного металла, хорошие условия кристаллизации и охлаждения и, следовательно, формирование плотной однородной структуры поверхностного слоя. Это дает возможность получить однородные наплавочные валики высокого качества при увеличении производительности процесса наплавки и повышении износостойкости наплавленного слоя в 1,5–1,7 раза.

3. При электродуговой наплавке металлоповерхностей с присадочными металлопорошковыми материалами и подачей ультразвуковых колебаний на плавящийся электрод диспергированные ультразвуком капли электродного металла одновременно с частицами порошка, попадая в кристаллизующийся металл, создают в нем дополнительные центры кристаллизации (зародыши), что способствует увеличению числа кристаллов и повышению скорости кристаллизации, а следовательно, образованию мелкодисперсной структуры. Наплавленный слой получается качественным, без металлургических дефектов с более высокой твердостью. Такой способ наплавки позволяет снизить градиент температуры по сечению наплавляемого слоя и повысить скорость кристаллизации, что понижает остаточные напряжения как в наплавленном слое, так и в зоне сцепления покрытия с основным металлом. Результаты экспериментов показали, что такая технология наплавки повышает микротвердость наплавленных поверхностей, которая получается в 1,2–1,3 раза больше, чем при наплавке без применения УЗК. Структура покрытия изменяется в зависимости от содержания в нем легирую-

щих элементов, которые уменьшают склонность аустенитного зерна к росту. Введение присадки из металлопорошков уменьшает долю участия основного металла в формировании наплавленной поверхности, а воздействие УЗК на электрод, на дуговое пространство и расплав ванны металла приводит к устранению столбчатости структуры наплавленного слоя, уменьшению величины зерна, образованию плотной бездефектной структуры, что оказывает положительное влияние на физико-механические и эксплуатационные свойства наплавленных металлопокрытий. Такие металлопокрытия обеспечивают повышение долговечности деталей узлов и механизмов, а следовательно, и надежности машин, агрегатов и технологического оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сварка** и резка материалов: учеб. пособие для учреждений НПО / М. Д. Банов [и др.]; под ред. Ю. В. Казакова. – М.: Академия, 2010. – 400 с.
2. **Моисеенко, В. П.** Материалы и их поведение при сварке: учеб. пособие / В. П. Моисеенко. – Ростов н/Д.: Феникс, 2009. – 302 с.
3. **Ивашко, В. С.** Электродуговая наплавка металлоповерхностей в среде защитного газа с поперечными колебаниями электрода / В. С. Ивашко, В. В. Кураш, А. В. Кудина // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин и механизмов оборудования, инструмента и технологической оснастки: материалы 10-й юбилейной Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 15–18 апреля 2008 г.: в 2 ч. – СПб., 2008. – Ч. 1. – С. 126–132.
4. **Ленивкин, В. А.** Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах / В. А. Ленивкин, Н. Г. Дюргеров, Х. Н. Сагиров. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
5. **Попов, А. А.** Изотермические термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита / А. А. Попов. – М.: Металлургия, 1991. – 502 с.
6. **Способ** электродуговой наплавки в среде защитных газов с применением ультразвука: пат. 7022 Респ. Беларусь С1 2005.06.30 С1, В23К 9/04 / В. К. Шелег, В. В. Кураш, В. Т. Минченя, М. Г. Киселев, В. В. Хроленок; заявитель НИКТИ с ОП. – № а 20000956; подано 24.10.2000; зарегистрировано в Гос. реестре изобретений 14.01.2005.
7. **Устройство** для передачи ультразвуковых колебаний на плавящийся электрод: пат. 3170 Респ. Беларусь, U B22D 27/08 / В. В. Кураш, В. С. Ивашко, А. В. Кудина, В. Т. Минченя, В. В. Хроленок; заявитель УО «БГАТУ». – № u 20060204; заявл. 20.04.06; опубл. 01.06.06 // Афіцыйны бюл. / Вынаходствы, карысныя мадэлі, прамысловыя ўзоры. – 2006. – № 6. – С. 172.
8. **Кудина, А. В.** Технология формирования износостойких композиционных металлопокрытий

электродуговой наплавкой с применением ультразвука: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. В. Кудина. – Минск: БНТУ, 2009. – 23 с

9. **Влияние** режимов и способов введения порошковой присадки на качество наплавленного слоя в среде углекислого газа / Н. В. Спиридонов [и др.] // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2007. – № 6. – С. 24–27.

10. **Способ** нанесения на поверхность детали легированного мелкозернистого металлопокрытия: пат. № 16225 Респ. Беларусь, С1, 2012.08.30, МПК В23К 9/04 (2006.01) / В. В. Кураш, Н. В. Спиридонов, А. В. Кудина; заявитель – УО «БГАТУ». – а 20100538, заявлено 2010.04.09; зарегистрировано 2012.05.11.

11. **Кудина, А. В.** Электродуговая наплавка износостойких покрытий с применением УЗК и легированием наплавленного слоя / А. В. Кудина, Н. А. Воробьев, В. В. Кураш // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф. в Минске 14–15 апреля 2011 г. – Минск: УО «БГАТУ», 2011. – С. 247–249.

12. **Исследование** интенсивности изнашивания нового состава износостойкого металлопокрытия для трибоповерхностей деталей машин / В. В. Кураш [и др.] // Агропанорама. – 2012. – № 5. – С. 13–17.

Поступила 21.12.2012

УДК 629.113.3–592

МОДЕРНИЗАЦИЯ ХОДОВОЙ ЧАСТИ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ

*Докт. техн. наук КОРОБКИН В. А.¹⁾, канд. техн. наук, доц. КОТЛОБАЙ А. Я.²⁾,
докт. техн. наук, проф. БОЙКОВ В. П.²⁾, инж. КОТЛОБАЙ А. А.²⁾,
канд. воен. наук, доц. ТАМЕЛО В. Ф.²⁾*

¹⁾Минский тракторный завод,

²⁾Белорусский национальный технический университет

Гусеничные транспортно-тяговые машины с гидропневматической подвеской опорных катков содержат ряд перспективных технических решений [1], обеспечивающих высокие показатели плавности хода. При движении гусеничной машины по неровной трассе существенно увеличивается энергия колебаний, превращаемая амортизаторами двух передних и одного заднего по каждому борту опорных катков в теплоту, в результате чего рессоры разогреваются. При разогреве и расширении газа и жидкости рессор давление в рабочих полостях рессор и механизма натяжения повышается, что приводит к увеличению нагруженности элементов ходовой части, снижению надежности и долговечности.

Повышение эксплуатационных качеств гидропневматической подвески опорных катков гусеничной машины достигается поддержанием среднего уровня давления в рабочих полостях гидропневматических рессор в заданных

пределах. Одним из возможных путей стабилизации характеристик гидропневматической подвески опорных катков гусеничной машины является корректирование конструктивного объема рабочей полости гидропневматической рессоры в соответствии с тепловым состоянием жидкости и газа. Технически такое решение реализуется посредством оснащения гидропневматической рессоры компенсационной емкостью, подключаемой к рабочей полости рессоры по сигналу реле давления механизма натяжения гусениц. Предложены два направления технической реализации системы стабилизации параметров гидропневматической подвески гусеничной машины.

Техническая реализация устройства компенсации предполагает оснащение рессоры гидропневматическим цилиндром компенсации (рис. 1а) с пневматической полостью 12, связанной с пневматической камерой 3 рессоры 1, и гидравлической полостью 11, связываемой