

УДК 621.791.92

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ, ИЗНОСОСТОЙКИХ МЕТАЛЛОПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛЯХ МАШИН МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

А.В. Кудина,

доцент каф. стандартизации и метрологии БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

И.О. Соколов,

доцент каф. «Технология машиностроения» БНТУ, канд. техн. наук, доцент

В статье изложены результаты исследований созданной новой технологии и способа наплавки металлоповерхностей на детали машин и механизмов в ультразвуковом поле с одновременной подачей в сварочную ванну присадки из порошковых износостойких материалов. Раскрываются технологические особенности нанесения упрочняющих износостойких металлопокрытий и конструктивная схема устройства для реализации этой технологии. Приведен сравнительный анализ микроструктуры наплавленных по разработанной технологии металлопокрытий с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Ключевые слова: технология, способ наплавки, ультразвук, устройство, свойства металлопокрытия.

The article presents research results of the created new technology and method for surfacing metal surfaces on machine parts and mechanisms in the ultrasonic field with simultaneous feeding of wear-resistant powder materials into the weld pool. Technological features of applying hardening wear-resistant metal coatings and structural scheme of the device for the implementation of this technology are revealed. A comparative analysis of the microstructure of metal platings deposited according to the developed technology with high physicomechanical and operational properties is given.

Keywords: technology, method of surfacing, ultrasound, device, metal plating properties.

Введение

В настоящее время во всех промышленно развитых странах применяются передовые технологии упрочнения и восстановления деталей путем нанесения износостойких металлопокрытий, которые на наших предприятиях применяются крайне редко. Практика промышленных предприятий показывает, что около 85-90 % общего числа всех деталей, подлежащих замене при ремонтах, выходят из строя из-за физического износа и только 10-15 % – вследствие случайных поломок. При этом критерием отбраковки деталей является износ, равный не более 0,3 мм. Если принять концепцию экономии средств от закупки или изготовления новых запасных частей, то во всем мире используют технологии восстановления геометрических размеров и свойств поверхности, при этом подавляющее большинство деталей восстанавливается с применением технологий, использующих тепловую энергию. Тепловложение при нанесении слоев металла изменяет геометрию и структуру поверхности восстанавливаемой детали, улучшает ее физико-механические и эксплуатационные характеристики. В машиностроении известно, что большинство внедрений в области решения проблем износа и коррозии связано с технологиями восстановления геометрии и нанесения защитных покрытий с использованием электрофизических процессов. Среди этих технологий, методов и способов важное место занимают:

- технология наплавки металлопокрытий порошковыми и проволочными материалами на железной, никелевой, кобальтовой и медной основах;
- способы плазменной и электродуговой наплавки слоями толщиной от 1,0 до 4,0 мм;
- скоростной наплавки порошковых покрытий толщиной 0,3-2,0 мм;
- методы наплавки-напыления порошковых покрытий толщиной 0,5-4,0 мм и др. [1].

В этой связи, следует заметить, что весьма перспективным направлением получения износостойких металлопокрытий является совмещение операций нанесения покрытия с дополнительным упрочнением поверхности, которое достигается путем физического воздействия на расплав металла в процессе формирования микроструктуры. Так, например, в качестве физического воздействия на расплавы металла в металлургии широко используются эффекты ультразвукового воздействия. Ультразвук эффективно используется и в машиностроении, в технологических процессах обработки металлов. Его применяют для интенсификации термической и химико-термической обработки, для снятия внутренних напряжений, при обработке металлов давлением, в порошковой металлургии, для создания сплавов, состоящих из металлической основы с неметаллическим порошковым наполнителем, при электрохимическом нанесении покрытий, для интенсификации теплообменных процессов, в операциях по очистке изделий от окалины и

загрязнений и пр. Введение в технологический процесс ультразвуковой обработки в ряде случаев является единственным способом получения изделий высокого качества. Публикации последних лет показывают, что интерес к ультразвуковым методам интенсификации технологических процессов постоянно растет. Непрерывно совершенствуется технология воздействия ультразвуком на исследуемые объекты, создается новая аппаратура, оборудование и устройства для его применения в исследованиях и производстве.

Целью данной работы является анализ новой технологии повышения износо-коррозионной стойкости трибоповерхностей деталей машин и технологического оборудования методами нанесения металлопокрытий из композиционных материалов наплавкой с применением ультразвука, который позволяет существенно расширить границы упрочняющих технологий, что является одной из актуальных задач современного машиностроения и ремонтного производства в Республике Беларусь [2].

Основная часть

Для электродуговой наплавки в среде защитных газов с целью упрочнения наплавленных поверхностей разработаны новая технология и способ нанесения на поверхность детали легированного мелкозернистого металлопокрытия [3]. Такой способ и технология наплавки металлопокрытий обеспечивают подачу порошковой присадки в сварочную ванну жидкого металла на безопасном расстоянии от дуги и позволяют вводить порошковую присадку из сплава металлов, практически без потерь, в хвостовую часть ванны жидкого металла, что способствует созданию равномерной и развитой контактной поверхности реагирующих фаз, а это дает возможность контролировать и управлять процессами формирования наплаваемых слоев металла. Подача ультразвука (УЗК) на плавящийся электрод создает в зоне сварки и в расплавленном металле локальную зону упругих колебаний и волн, в которой последние активизируют процессы кристаллообразования и создания плотной мелкозернистой структуры, что способствует упрочнению наплавленной поверхности при затвердевании. Анализ существующих способов ввода ультразвука в расплавы, применительно к процессам электродуговой наплавки в среде защитных газов, показал, что способ подачи ультразвука на плавящийся электрод является наиболее предпочтительным. Такая технология и схема введения ультразвука в зону плавления металла позволяют получать высококачественную структуру наплавленного слоя за счет управления процессом кристаллизации расплавленного металла и получения надежной изоляции сварочной ванны от окружающей среды потоком защитного газа. Под воздействием ультразвуковых волн происходит упорядоченный и направленный каплеперенос электродного металла, ограничиваются перемещения электрической дуги, происходит дробление капель электрода на мельчайшие частички, которые в расплаве основного металла интенсифицируют процесс зародыше-

образования кристаллов и способствуют формированию однородной мелкозернистой структуры с кристаллами правильной формы. При этом ультразвук повышает плотность и давление газовой оболочки, делает ее сплошной, без завихрений, что приводит к снижению разбрызгивания плавящегося электродного металла. Все это обеспечивает стабильность процесса наплавки и позволяет формировать наплавленный слой с однородной, мелкозернистой структурой, чем обеспечивается повышение физико-механических и прочностных свойств полученной поверхности. Схема технологической оснастки для введения ультразвуковых колебаний и порошкового присадочного материала в зону наплавки представлена на рис. 1. Все узлы оснастки монтируются на корпусе наплавочной головки (поз. 4). Устройство передачи УЗК на электрод (поз. 1) с пакетом пьезокерамических пластин является основным рабочим органом оснастки. Пьезоэлементы преобразователя ультразвуковых колебаний через волновод-концентратор (поз. 2) передают ультразвуковые колебания наконечнику токовода (поз. 5) и далее электродной проволоке (поз. 3). Питание ультразвукового преобразователя осуществляется от ультразвукового генератора. Такой способ подачи ультразвуковых колебаний в зону наплавки [2, 3] позволяет, не разрывая оболочки факела защитного газа, подавать поперечные ультразвуковые колебания в зону расплавленного металла и влиять на процесс кристаллообразования в наплаваемых сло-

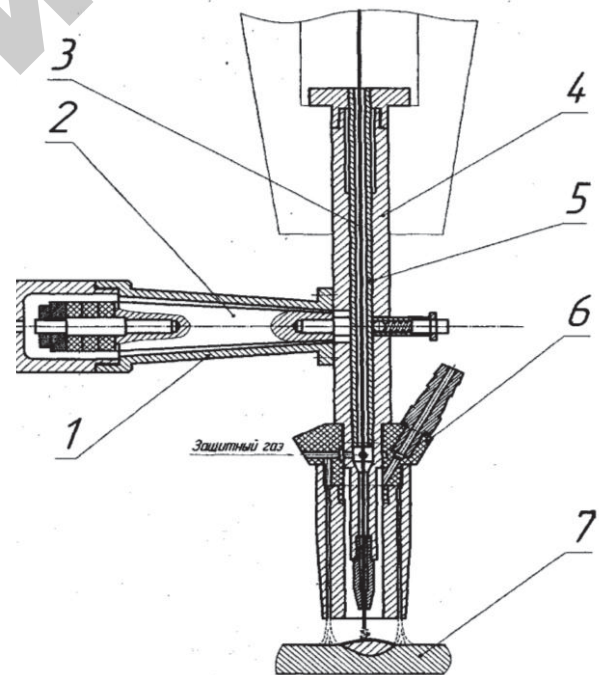


Рис. 1. Схема технологической оснастки для введения ультразвуковых колебаний и порошкового материала в зону наплавки: 1 – устройство передачи УЗК на электрод; 2 – волновод-концентратор; 3 – электродная проволока; 4 – корпус наплавочной головки; 5 – токовод; 6 – устройство для подачи газопорошковой смеси; 7 – наплаваемая поверхность

ях. Этот способ электродуговой наплавки и технологическая оснастка для его реализации позволяют формировать мелкозернистую и однородную структуру наплавленного слоя, что обеспечивает повышение физико-механических и прочностных свойств полученных металлоповерхностей.

На рис. 2 представлены результаты исследований микроструктуры поверхностей, наплавленных проволокой Св-08Г2С ГОСТ 2246-70 с металлопорошковым присадочным материалом (ППМ) из сплавов ПГ-СР3 и ПГ-СР4 ГОСТ 21448-75, которые показывают, что структура покрытий, наплавленных без ультразвука (рис. 2а), имеет зерна, размером $(70...90) \times 10^{-2}$ мкм и металлургические дефекты (поры, флокены), чего не наблюдается в структуре слоя, наплавленного с ультразвуком (рис. 2б), которая имеет однородное строение и более мелкое зерно, размером $(30...45) \times 10^{-2}$ мкм [5]. Это можно объяснить тем, что дробление капель плавящегося электрода ультразвуком и введение ППМ способствуют появлению дополнительных центров кристаллизации в расплаве металла сварочной ванны. Кроме того, введение ППМ уменьшает долю участия основного металла в формировании наплавленного валика, а все это приводит к изменению характера структуры и формы зерна, уменьшению его величины, устранению столбчатости и образованию равноосных зерен [4, 5].

Состав ППМ влияет на фазовые структурообразования наплавленного слоя, которые в дальнейшем определяют его качество и эксплуатационные характеристики. Бориды никеля и хрома износостойкой порошковой присадки, распределяясь в расплаве металла, образуют в наплавленном слое твердосплавные включения с мягкой матричной основой. Такая структура получается однородной и хорошо противостоит изнашиванию.

Наиболее существенным эффектом наплавки,

наблюдаемым при обработке кристаллизующегося металла ультразвуком, является измельчение величины зерен [2, 4]. Ультразвуковые колебания электрода вызывают диспергирование плавящегося металла, а образующиеся мелкодисперсные капельки его вместе с частичками металлопорошковой присадки, попадая в расплав сварочной ванны, становятся центрами зарождения кристаллов, вокруг которых происходит их рост в ограниченном пространстве. Известно, что процесс кристаллизации начинается с возникновения в жидкой фазе металла небольших объемов зародышей твердой фазы (центров кристаллизации) с последующим их быстрым ростом. Кроме того, ультразвук, воздействуя на кристаллизующийся металл сварочной ванны, тормозит рост образовавшихся кристаллов, не позволяя им достигать крупных размеров. В поле ультразвуковых колебаний интенсифицируются флуктуационные процессы, определяющие переход молекул из жидкой фазы в твердый зародыш и изменяющие энергию активации. В результате изменения поверхностного натяжения и энергии активации уменьшается процесс образования зародышей и увеличивается вероятность зарождения твердой фазы. Это приводит к увеличению скорости зарождения центров кристаллизации. Степень воздействия ультразвука на структуру и свойства сплавов зависит от их природы. Известно, что наибольшее измельчение зерна и повышение механических свойств кристаллизующегося металла происходит при обработке ультразвуком сплавов типа твердых растворов, причем, в чистых металлах структура измельчается мало под воздействием ультразвука и значительно измельчается при вводе в расплав добавок, создающих дополнительные центры кристаллизации. При электродуговой наплавке поверхностей в среде защитного газа, при одновременном воздействии ультразвукового поля на газовую среду, в ней происходят необратимые изме-

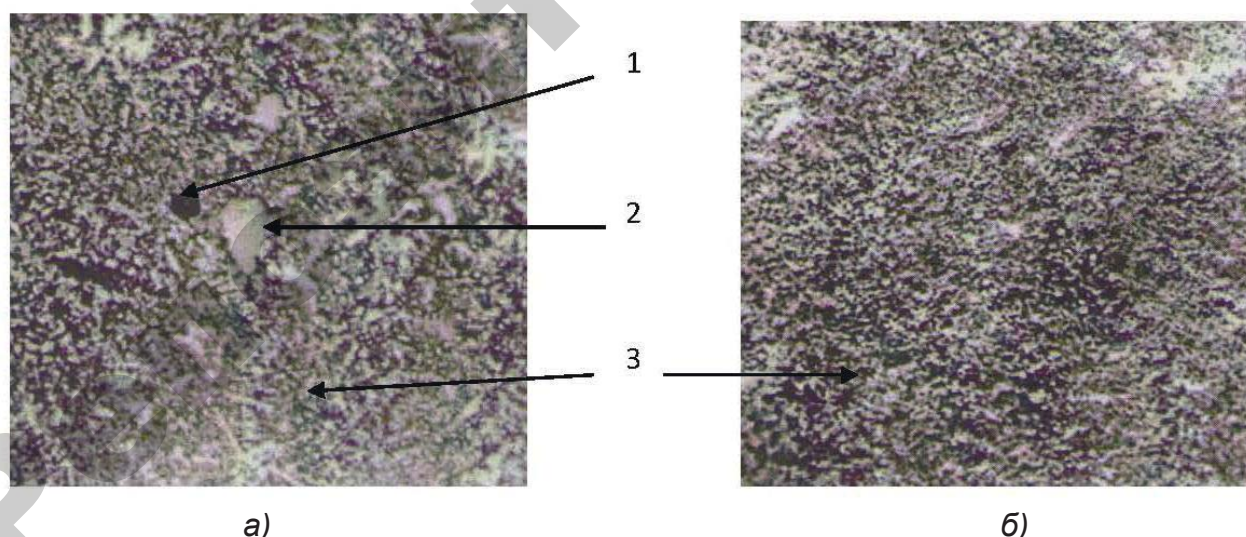


Рис. 2. Микроструктура легированных металлопокрытий, полученных наплавкой в среде защитного газа с ППМ, $\times 500$: а – без применения УЗК; б – с применением УЗК ($A = 12...15$ мкм, $f = 24$ кГц); 1 – поры; 2 – флокен; 3 – неметаллические включения

нения, что обусловлено в большинстве случаев нелинейными эффектами, а именно: интенсификация тепло- и массопереноса, направленное действие звукового давления, увеличение скорости переноса частиц, интенсификация перемешивания газа, распыление расплавленных частиц, коагуляция частиц и стабилизации процесса горения электрической дуги. На твердые частички металлопорошка и капли расплава электродного металла, перемещающиеся в ультразвуковом газовом потоке, кроме сил звукового давления, влияют пограничные акустические потоки, максимальные в пучностях волн. При падении ультразвуковой волны, на поверхности капли или частицы происходит интенсивное колебательное движение. Перемещаясь в стоячей звуковой волне газовой струи и пучности скорости, капля интенсивно разрушается и распадается, что приводит к диспергированию металла плавящегося электрода внутри факела защитной газовой оболочки [1, 2]. Следовательно, применение ультразвуковых колебаний при электродуговой наплавке металлоповерхностей в среде защитных газов дает возможность активного воздействия на кристаллизацию металла сварочной ванны и перенос электродного металла. При ультразвуковой обработке расплава металла в состоянии кристаллизации из-за измельчения зерна структура наплавленного слоя получается равномерной. Кроме того, при воздействии ультразвуковым полем на жидкий металл в нем возникают кавитационные явления, которые способствуют дегазации расплава и разрушению кристаллических зародышей, что ведет к резкому увеличению числа центров кристаллообразования. Ультразвуковая кавитация может привести и к местному переохлаждению, в результате чего происходит отделение от кристаллизующегося расплава мельчайших кристалликов, которые, рассеиваясь, становятся в металле новыми центрами кристаллизации. Поэтому механические свойства металлоповерхностей, наплавленных и обработанных ультразвуком при кристаллизации, значительно повышаются: растет прочность, увеличивается твердость, наплавленные слои становятся мелкозернистыми, однородными, граница раздела наплавленного покрытия с основным металлом практически отсутствует [1, 5].

Заключение

Разработанная технология и способ наплавки металлоповерхностей в ультразвуковом поле с одновременной подачей в сварочную ванну присадки из порошковых сплавов позволяет решать вопросы технологии изготовления и ремонта деталей машин, технологического оборудования и механизмов на более высоком и качественном уровне. Этот способ решает одну из основных организационных проблем – совмещение процесса подготовки поверхностей деталей узлов трения машин и механизмов перед наплавкой высокопрочных, износостойких покрытий на трибоповерхности, подвергающиеся интенсивному изнашиванию. Воздействие ультразвука на процесс наплавки измельчает структуру металла напла-

вленного слоя и увеличивает стабильность и частоту переноса электродных капель, что улучшает качество полученной поверхности и технологического процесса электродуговой наплавки поверхностей в среде защитных газов. Преимуществами наплавки в ультразвуковом поле являются: локализация нагрева в зоне соединения, причем, более низкая, чем наплавка без ультразвука, а также возможность соединения загрязненных поверхностей и обеспечение высокой степени сцепления покрытия с основным металлом. При наплавке с ультразвуком практически отсутствует граница раздела: покрытие – основной металл. Мелкозернистость получаемых покрытий и образующаяся при применении этого способа наплавки структура без металлургических дефектов создают высокое качество наплавленных слоев металла, а значит высокие физико-механические, прочностные и эксплуатационные свойства, чем обеспечивается надежность и долговечность узлов трения машин и механизмов. Кроме того, ультразвуковые колебания оказывают диспергирующее действие, что позволяет вводить в расплав твердые измельченные частицы тугоплавких компонентов, а также получать покрытия из металлов, не смешивающихся между собой в обычных условиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивашко, В.С. Формирование качественных износостойких металлопокрытий способом электродуговой наплавки в ультразвуковом поле с введением в расплав твердосплавной порошковой присадки / В.С. Ивашко, В.В. Кураш, А.В. Кудина // Теория и практика машиностроения. – Мн.: БНТУ, 2003. – №2. – С.77-81.
2. Кудина, А.В. Технология формирования износостойких композиционных металлопокрытий электродуговой наплавкой с применением ультразвука: автореф.... дисс. канд. техн. наук: 05.03.01/ А.В. Кудина; БНТУ. – Мн., 2009. – 22 с.
3. 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 БГАТУ. – а20100538; заявл. 04.09.20010; опубл. 30.12.11 // Аф. бюл. – 2011. – № 6. – С. 17
4. Шелег, В.К. Легирование трибоповерхностей деталей машин металлопорошками износостойких сплавов электродуговой наплавкой с ультразвуковой обработкой / В.К. Шелег, Н.В. Спиридонов, А.В. Кудина, В.В. Кураш // Машиностроение, 2014. – Вып. 28. – С. 88-94.
5. Кудина, А.В. Технологическое обеспечение качества и надежности деталей узлов трения машин и механизмов / А.В. Кудина, М.С. Капица, И.О. Соколов, Н.В. Спиридонов // Машиностроение, 2017. – Вып. 30. – С. 138 – 142.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 09.01.2019