

2. Норматив потребности в таких тракторах может составлять один трактор на 4000 га пашни.

3. Шлейф сельскохозяйственных машин к трактору класса тяги 6 не должен ограничиваться только машинами для обработки почвы и посева.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция системы машин и оборудования для реализации инновационных технологий производства, первичной переработки и хранения основ-

ных видов сельскохозяйственной продукции до 2015 года и на период до 2020 года (рекомендации по применению). – В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск: НАН Беларуси, 2014. – 138 с.

2. Справочник нормативов трудовых и материальных затрат для ведения сельскохозяйственного производства: 2-е изд., перераб. и доп. / Под редакцией В.Г. Гусакова. Сост. Я.Н. Бречко, М.Е. Сумонов. – Минск: БелНИИ аграрной экономики», 2002. – 440 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 19.02.2016

УДК 621.791.92

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ТРИБОПОВЕРХНОСТЕЙ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ

А.В. Кудина,

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

В.С. Ивашко,

зав. каф. технической эксплуатации автомобилей БНТУ, докт. техн. наук, профессор

Разработаны композиционный состав металлопокрытия и технология его нанесения на поверхности деталей узлов трения машин, механизмов и технологического оборудования. Состав и технология получения покрытий придают наплавленному слою металла высокие качественные, физико-механические и эксплуатационные характеристики, что позволяет поднять на новый уровень износостойкость и ресурс деталей узлов трения и, следовательно, в целом надежность машин и технологического оборудования.

Ключевые слова: качество, микроструктура, усталостная прочность, износостойкость, долговечность.

A composite structure of metal plating technology and its application to the surface of the machine parts of friction units, machinery and technological equipment has been developed. The composition and technology of obtaining of coatings give a metal layer the high weld quality, physical and mechanical performance, which allows rising up to new levels of wear and friction parts of resource nodes, and hence reliability of machines and process equipment.

Keywords: quality, microstructure, fatigue durability, wear-resistance, durability.

Введение

Высокое качество продукции является важнейшим условием повышения эффективности общественного производства. Поэтому в системе стандартизации для объективной оценки качества любой продукции существует его количественная оценка – показатели качества, в структуре которых показатели надежности являются важнейшими показателями качества изделий. В отличие от всех других показателей качества, показатели надежности тесно связаны с фактором времени и характеризуют способность изделия выполнять заданные функции в рассматриваемый момент или в пределах заданного отрезка времени. В машиностроении известно, что для получения высококачественной продукции требуется применение новых конструкционных материалов и техноло-

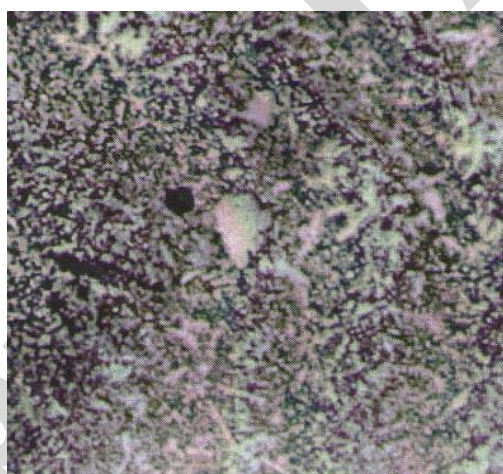
гий, способных улучшить важнейшие параметры машин и механизмов, а значит, повысить их надежность и долговечность, снизить материалоемкость. Особая роль при этом отводится композиционным материалам, наиболее перспективными из которых являются дисперсно-упрочненные. Эти материалы относятся к классу порошковых. Их структура представляет собой матрицу из основного металла или сплава, в которой равномерно распределены дисперсные частицы упрочняющей фазы. В качестве последней применяются термодинамически стабильные соединения с высоким значением модуля сдвига – оксиды, карбиды, нитриды, бориды, интерметаллиды. Такие материалы широко применяются в машиностроительном производстве для повышения качества рабочих трибоповерхностей деталей узлов и механизмов, что повышает надежность и качество машин в целом. Тех-

нология и методы нанесения порошковых материалов на трибоповерхности деталей в большинстве случаев основаны 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 наплавленном 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 [1, 2].

Основная часть

Для повышения надежности и долговечности трибоповерхностей деталей машин, подвергающихся интенсивному, как абразивному, так и коррозионно-механическому изнашиванию, необходимо формировать рабочие поверхностные слои деталей с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Такими защитно-упрочняющими металлопокрытиями и технологией их нанесения являются предлагаемые новые научные и инженерные решения, частично изложенные и опубликованные в печати [1-4]. Сущность их заключается в нанесении определенного композиционного состава из металлопорошков в поле ультразвуковых колебаний (УЗК) на

рабочие поверхности деталей узлов и механизмов машин. Применение этой технологии упрочнения стальных трибоповерхностей электродуговой наплавкой в среде защитного газа позволяет не разрывая оболочку защитного газового факела подавать ультразвуковые колебания непосредственно в зону расплавленного металла и влиять на процесс кристаллообразования в наплавленном слое. При этом ультразвук повышает плотность и давление газовой оболочки, делает ее сплошной, без завихрений, что приводит к снижению разбрызгивания электродного металла. Такой способ электродуговой наплавки позволяет формировать наплавленный слой с однородной, мелкозернистой структурой, что обеспечивает повышение физико-механических и прочностных свойств полученной поверхности. Структура наплавленного покрытия представлена на рисунке 1.



а)



б)

Рисунок 1. Структура наплавленного покрытия $\times 500$, при $I=200-250A$,
 $U_d = 23-24B$, $Q_{ппм} = 0,8г/с$:

а – без применения УЗК; б – с применением УЗК
($A = 12 \dots 15 мкм$, $f = 24 кГц$)

Для изучения микротвердости наплавленных металлопокрытий, проверки их на усталостную проч-

ность и износостойкость были изготовлены экспериментальные образцы по способу [3], которые исследовались методами металлографии, ультразвукового контроля и рентгеноструктурного анализа. Наплавка образцов выполнялась проволокой СВ-08Г2С ГОСТ 2246-70 при введении в расплав металла порошковой присадки из сплавов ПГ-СР3 и ПГ-СР4 ГОСТ 21448-75 с одновременной подачей УЗК на электродную проволоку. Частота и амплитуда УЗК устанавливались согласно рекомендациям [2]. Для выполнения экспериментов была выбрана амплитуда колебаний 9...10 мкм. Частоту УЗК контролировали с помощью цифрового частотомера Ф 576, амплитуду колебаний регулировали изменением выходного напряжения преобразователя и контролировали с помощью дифференциального электродинамического датчика. Визуальная оценка качества наплавленных валиков показывает, что из всех наплавленных поверхностей можно выделить образцы, полученные при среднерасходовой скорости транспортирующего порошок газа $V = 5...6$ м/с и грануляцией порошка 500...600 мкм. На этих образцах получены ровные плотные валики. Отклонений от формы практически не наблюдается. Микро- и макроструктурный анализ показал, что покрытия имеют однородную структуру с равномерным распределением лигатуры, что свидетельствует о качестве покрытия в наплавленных валиках. Применение ультразвуковой обработки с введением в расплав частиц твердосплавного порошкового материала позволило существенно повлиять на температурный порог метастабильности, чем резко увеличило скорость зарождения кристаллов и затормозило их рост в присутствии частиц порошка, а это позволило формировать мелкозернистую структуру.

Известно, что в процессе наплавки металлоповерхностей, как в основном металле, так и в наплавочных валиках, могут возникать значительные сварочные напряжения до 300 МПа [1-4]. Несмотря на то, что уровень остаточных растягивающих напряжений ниже предела текучести материала, такое напряженное состояние металла валика и поднаплавленного слоя является опасным, т.к. повышается склонность к хрупкому разрушению. Применяемое, как правило, в производстве снятие внутренних напряжений с помощью высокотемпературного подогрева не позволяет существенно снизить остаточные напряжения в многослойных поверхностях. Такие важнейшие эксплуатационные характеристики сварных поверхностей детали машин, как износостойкость, усталостная прочность и ползучесть при повышенных температурах в значительной

мере зависят от состояния поверхности изделия и глубины распространения остаточных напряжений, которые снижаются благодаря применению ультразвуковой обработки металла. Испытания на прочность образцов проводили на установке «Schenk Sinus 100.40» при скорости нагружения 10^{-4} с⁻¹. Испытания на сопротивление усталости образцов (в исходном состоянии и после наплавки с УЗК) проводили при изгибающей нагрузке 325 МПа и частоте 2 Гц. Измерение твердости по глубине наплавки замеряли через каждый миллиметр. Микротвердость структурных составляющих определяли на приборе ПМТ-3. Каждую структурную составляющую измеряли по 3 раза при разбросах твердости – 2...4 % и по 5 раз при разбросах более 4 %. Применение УЗК при наплавке приводит к изменению структуры поверхностей, как наплавленных валиков, так и основного материала, что показывают результаты ранее выполненных исследований. В зоне основного металла происходит измельчение зерен в 2...3 раза, в самой наплавленной поверхности структура формируется плотной мелкозернистой с включением (равномерным) твердых частиц порошкового материала. Структурные изменения сопровождаются изменением свойств материалов. Так, зона термического влияния (ЗТВ) имеет наименьшую поверхностную твердость, как в исходном, так и после наплавки с УЗК состояниях. Это связано с обезуглероживанием поверхности при сильном нагреве в процессе наплавки. Наблюдается плавный переход к уровням твердости основного металла и наплавленного валика. Распределение микротвердости металла в зонах наплавленного соединения представлено на рисунке 2. Несколько большая твердость

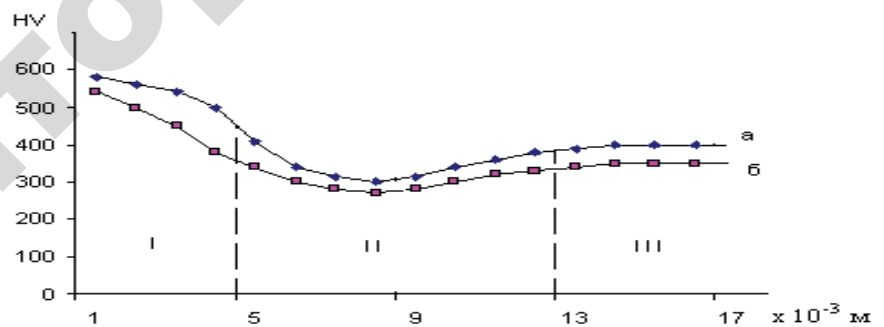


Рисунок 2. Распределение микротвердости металла в зонах наплавленного соединения:
 а - наплавка с применением УЗК; б - наплавка без применения УЗК
 I-наплавленный металл; II-зона термического влияния; III-основной металл

валика, наплавленного с УЗК, объясняется природой воздействия ультразвуковых колебаний на процесс кристаллизации металла. Снижение обезуглероживания в зоне термического влияния, практически до исходного значения и понижение твердости металла в этой зоне можно объяснить снижением температурного градиента за счет введения в расплав порошка и от воздействия УЗК.

По характеру кривых можно заключить, что ультразвуковые колебания обеспечивают образование сжимающих напряжений в поверхностном слое и ЗТВ, уменьшая при этом градиент напряжений, возникающих на линии сплавления и границе перехода к основному металлу. Известно [1-2], что процесс усталостной повреждаемости наплавленных соединений на микроуровне характеризуется стадийностью, свойственной поликристаллическим металлам с макроконцентраторами напряжений, а очаг накопления циклических деформаций связан с зоной перегрева, граничащей с областью сплавления. На образцах, наплавленных без УЗК, при числе циклов нагружения $N=2 \cdot 10^3$ в этой зоне проявляются поля локальных деформаций с участками пластических сдвигов размером 150...300 мкм. После длительного воздействия переменной нагрузки $N=(75...80) \cdot 10^3$, обуславливающей накопление скрытых микроповреждений на поверхности, а в отдельных образцах на границе сплавления, происходит зарождение и рост поверхностной усталостной трещины. На этом этапе разрушения трещина растет вдоль зоны сплавления, преимущественно по границам зерен. При $N=(80...90) \cdot 10^3$ пластическое деформирование перед вершиной трещины приобретает явно выраженный характер. Механизм развития трещины меняется с интеркристаллитного на транскристаллитный, а ее рост происходит по границам раздела деформационных блоков. В ходе дальнейшего воздействия $N=(90...100) \cdot 10^3$ деформационные блоки ориентируются вдоль оси нагружения, что способствует превращению трещины в магистральную. Наплавка с ультразвуковыми колебаниями, вызывающими измельчение структуры приповерхностных зон, способствует снижению и перераспределению остаточных напряжений, благоприятно влияет на сопротивление усталостному разрушению, поэтому в течение всего времени циклического нагружения образцов не наблюдается образования поверхностных субмикродефектов и зарождения трещин в соединениях. Разрушение образцов произошло в $N=(300...350) \cdot 10^3$ в области основного металла вблизи захвата. Действие УЗК позволяет блокировать формирование деформационных субмикроструктур, что замедляет накопление усталостных микроповреждений в объеме материала и увеличивает долговечность наплавленных покрытий. Контрольная проверка (дефектоскопия) испытанных образцов на наличие микроповреждений люминисцентным и ультразвуковым методами показала, что на образцах, наплавленных с применением УЗК, зарождение усталостных трещин происходит при нагружении $N=(220...250) \cdot 10^3$ циклов [4].

Результаты исследований интенсивности изнашивания наплавленных металлопокрытий композиционного состава методом электродуговой наплавки, изложенные в работе [5], показали, что

подобные металлопокрытия снижают интенсивность изнашивания трибоповерхностей деталей узлов и механизмов в 1,7...1,9 раза, обеспечивая 6...7 класс износостойкости.

Заключение

Результаты исследований по влиянию ультразвуковой обработки на свойства наплавленного соединения с включением износостойкого порошкового прикладочного материала из сплавов по ГОСТ 21448-75 показывают, что такая технология наплавки повышает прочностные характеристики поверхностного слоя металла в 2...3 раза, увеличивает твердость поверхности на 20...25 %, повышает циклическую долговечность в 2...3 раза, снижает интенсивность изнашивания металла поверхностей трения деталей машин и механизмов. Применение разработанного состава металлопокрытия и технология его нанесения позволяют существенно повысить качество деталей узлов и механизмов, а значит, надежность и долговечность машин и технологического оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. – Мн.: БНТУ, 2014. – Вып. 28. – С. 88-94.
2. Кудина, А.В. Технология формирования износ-коррозионностойких композиционных металлопокрытий электродуговой наплавкой с применением ультразвука: автореф... дис. канд. техн. наук: 05.03.01 / А.В. Кудина; БНТУ – Минск., 2009. – 22 с.
3. Способ нанесения на поверхность детали легированного мелкозернистого металлопокрытия: пат. 6225 Респ. Беларусь, С1, 2012.08.30, МПК В23К 9/04 (2006.01) / В.В. Кураш, Н.В. Спиридонов, А.В. Кудина; дата публ.: 11.05. 2012.
4. 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.
5. Кураш, В.В.. Исследование интенсивности изнашивания нового состава износ-коррозионностойкого металлопокрытия для трибоповерхностей деталей машин / В.В. Кураш, А.В. Кудина, Ю.Т. Антонин, А.В. Кривицкий // Агропанорама, 2012. – № 5. – С. 13-17.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 14.03.2016