

Обоснование параметров и выбор оборудования для плазменной наплавки порошков с содержанием карбида вольфрама при восстановлении рабочих органов сельскохозяйственных машин

В.А. Шахов, д.т.н., профессор, П.Г. Учкин, аспирант, В.С. Коляда, инженер, Е.М. Асманкин, д.т.н., профессор, И.В. Попов, к.т.н., Р.Р. Шаркаев, студент, ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ

В настоящее время ведётся большая работа в области создания и развития современных наплавочных материалов и технологий для восстановления деталей машин. Многие из них работают в тяжёлых условиях знакопеременных нагрузок, абразивного износа и при этом имеют невысокий запас прочности и долговечности. Одной из таких деталей является долото глубокорыхлителя, которое работает в условиях постоянного абразивного и ударно-абразивного изнашивания [1–4].

Материал и методы исследования. Наиболее развивающейся технологией восстановления деталей машин является плазменная наплавка, которая в последнее время получает всё большее распространение ввиду разработки доступного высокотехнологичного оборудования и материалов для наплавки, а также непосредственно положительных качеств самого процесса, главными из которых являются малое температурное вложение в деталь и хорошая сцепляемость наплавленного слоя с основным металлом [5, 6].

Несмотря на активное применение плазменной технологии восстановления деталей, до сих пор не имеется достаточной информации о протекании наплавочного процесса и, в частности, наплавки материалов с высоким содержанием карбида вольфрама. Поэтому необходимо теоретически обосновывать режимы и моделировать процесс протекания наплавки для выявления образовавшейся структуры наплавленного шва, а также практически проверять все спроектированные режимы для их последующего использования при ремонте деталей как на ремонтных предприятиях, так и в мастерских хозяйств [1, 7, 8].

Анализ применяемых материалов при наплавке показал, что наилучшую износостойкость даёт порошок со значительным содержанием карбида вольфрама, который и является упрочняющим элементом сплава, в то время как основа является мягкой связующей и удерживающей фазой [2, 9, 10].

Анализ работ по изучению процессов плазменной наплавки даёт общее представление о характере протекания процесса, факторах, влияющих на него, и параметрах, оказывающих непосредственное влияние на получение качественного покрытия.

Результаты исследования. После изучения информации по технологии плазменного нанесения

покрытий становится ясно, что параметрами, не оказывающими существенного влияния на качество наплавленного шва, являются: состояние восстанавливаемой детали, взаимное расположение плазматрона и детали (оно), по исследованиям, должно быть в пределах от 8 до 17 мм для выполнения условия горения сварочной дуги и низкого перемешивания материала детали и наплавленного слоя) [9, 11].

Рассмотрим параметры, которые будут непосредственно влиять на качество получаемого покрытия. Основным критерием при их нахождении будет минимальная глубина проплавления металла детали, т.к. это главное условие получения качественного покрытия при плазменной наплавке. При минимальном значении глубины проплавления будет наблюдаться малое перемешивание основного металла с наплавленным, а значит, величина переходной зоны, которая становится хрупкой, уменьшается и возможность возникновения дефектов (трещин) сводится к минимуму. Согласно исследованиям, глубина проплавления должна составлять примерно 5% от толщины детали. Только в этом случае будет наблюдаться действительное увеличение износостойкости и прочности сварного соединения.

Также немаловажным параметром при наплавке является толщина наплавленного слоя, которая должна обеспечивать повышение износостойкости не меньше, чем в 3 раза, по сравнению с новой серийно выпускаемой деталью.

В рассматриваемом нами процессе наплавки применяется прямая полярность, т.к. именно в этом случае будет наименьшее тепловложение в деталь. Соответственно энергия, которую необходимо затратить для проплавления основного металла, будет снижаться, что также экономически целесообразно [7, 9, 10].

При рассмотрении наплавочного процесса всегда учитывается энергетический баланс, дающий представление о количестве энергии, участвующей в процессе. В случае плазменной наплавки передатчиком энергии (инструментом) выступит плазматрон, а в сам баланс добавится ещё одна фаза — наплавочный порошок, т.к. он является смесью основы (никелевая или железная) и упрочняющей фазы — карбида вольфрама, на оплавление которого тратится достаточное количество энергии (рис. 1).

При оценке количества энергии, затрачиваемой на осуществление наплавки, используются эффективный $\eta_{и}$ и термический $\eta_{т}$ коэффициенты полезного действия.

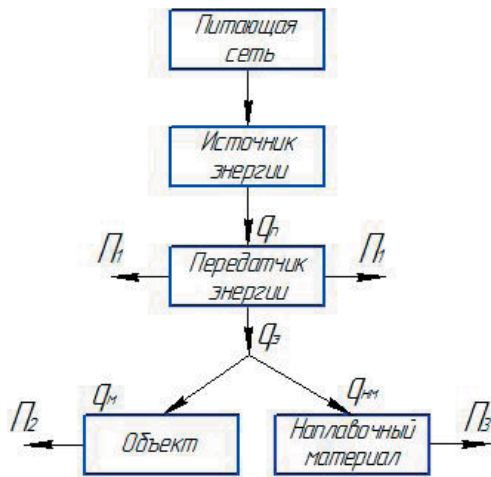


Рис. 1 – Схема энергетического баланса процесса наплавки:

P_1 – потери при передаче энергии от инструмента к объекту восстановления; P_2 – потери на теплопроводность в объекте; P_3 – потери при расплавлении порошка; q_n – энергия, переданная от источника питания; $q_э$ – энергия, использованная на наплавку; q_m – энергия, которая расходуется на проплавление металла детали; $q_{нм}$ – энергия, расходуемая на расплавление наплавочного порошка

Энергия q_n , которая получается из сети и передается от источника питания, является полной тепловой мощностью плазменной дуги. Энергия $q_э$, которая используется на наплавку, с учётом потерь теплоты в плазмотроне определяет количество энергии, затрачиваемой на проплавление основного металла (детали) (q_m) и расплавление наплавляемого материала ($q_{нм}$). Она называется эффективной тепловой мощностью дуги, являющейся показательной характеристикой процесса плазменной наплавки, так как она состоит из обоих компонентов, влияющих на качество восстановленного объекта:

$$q_э = q_m + q_{нм}, \quad (1)$$

где $q_э$ – эффективная тепловая мощность дуги, Вт; q_m – тепловая мощность дуги, которая расходуется на проплавление металла детали, Вт; $q_{нм}$ – тепловая мощность дуги, расходуемая на расплавление наплавочного порошка, Вт.

Погонная энергия (E) процесса плазменной наплавки находится как отношение эффективной тепловой мощности дуги ($q_э$) и скорости наплавки (V_n).

$$E = \frac{q_э}{V_n}, \quad (2)$$

где V_n – скорость наплавки, м/ч.

В соответствии с теорией распространения теплоты эффективный коэффициент полезного действия использования энергии дуги η_n определяет количество тепловой мощности дуги, идущее на нагрев основного металла детали и наплавляемого порошка, и находится по формуле:

$$\eta_n = \frac{q_э}{q_n}, \quad (3)$$

где q_n – полная тепловая мощность дуги, Вт, рассчитывается по формуле:

$$q_n = I \cdot U_d, \quad (4)$$

где I – сила тока, А;

U_d – напряжение дуги, В.

Термический коэффициент полезного действия η_t устанавливает количество энергии $q_э$, используемой на проплавление основного металла детали (q_m):

$$\eta_t = \frac{q_m}{q_э}. \quad (5)$$

Именно термический коэффициент полезного действия η_t показывает глубину проплавления основного металла и, зная его значение, можно определить параметры наплавочной ванны. Соответственно, зная его величину, мы можем судить о глубине проплавления, которая, как мы говорили выше, равна 5% от толщины детали [7].

При этом термический коэффициент полезного действия η_t при плазменной наплавке будет величиной постоянной, так как мощность дуги, расходуемая на проплавление основного металла детали q_m , не изменяется при восстановлении одинаковых деталей порошками с разными составами, а величина $q_{нм}$ при этом будет меняться, и её значение будет находиться по выражению, в котором учитывается состав наплавочной смеси:

$$q_{нм} = \frac{m \cdot h_v}{\rho}, \quad (6)$$

где m – расход порошка, г/с;

h_v – удельная энтальпия наплавляемого сплава, Дж/г;

ρ – плотность наплавочного порошка, г/см³.

Как видно, тепловая мощность дуги, расходуемая на расплавление наплавочного порошка, зависит от расхода и плотности порошка. Расход порошка, в свою очередь, зависит от скорости наплавки, которая контролируется силой тока I , чтобы обеспечивалось расплавление как основного металла, так и порошка.

Проведя математические преобразования, мы получаем формулу для нахождения силы тока процесса, которая учитывает все необходимые параметры плазменной наплавки:

$$I = \frac{1,16V_n \rho_{мет} h_{пл}}{U k_{пор}}, \quad (7)$$

где $\rho_{мет}$ – плотность основного металла, кг/м³;

$h_{пл}$ – удельная энтальпия металла детали, Дж/г;

$k_{пор}$ – коэффициент, учитывающий состав наплавочного порошка.

Таким образом, сила тока зависит от плотности основного металла, скорости наплавки, напряжения и состава наплавляемого порошка, т.е. всех наиболее важных параметров, от которых зависит прочность и износостойкость детали при эксплуатации.

Проведённое исследование по нахождению параметров позволяет выбрать необходимый режим плазменной наплавки в зависимости от применяемых наплавочных материалов. В данном случае важной составляющей является карбидная фаза, которая влияет не только на расчётные параметры,

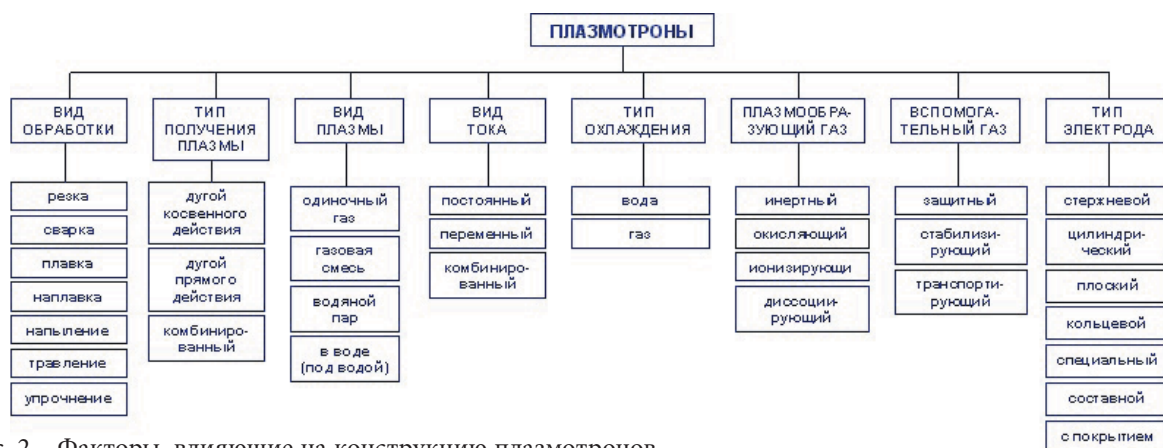


Рис. 2 – Факторы, влияющие на конструкцию плазматронов

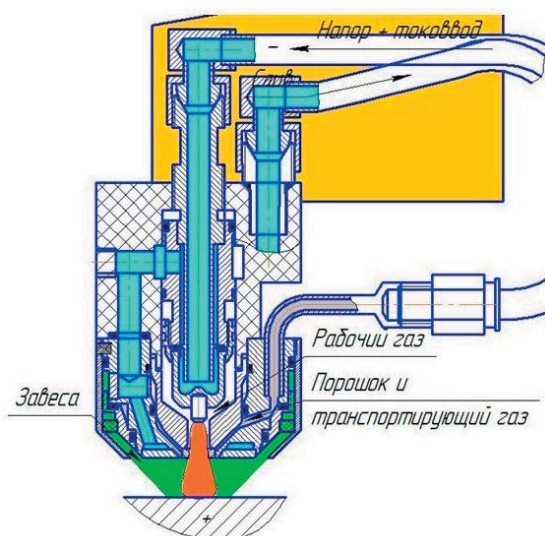


Рис. 3 – Схема плазматрона

но и на конструкцию плазменных установок и, в частности, на устройство рабочего инструмента – плазматрона. Существует множество факторов, влияющих на его конструкцию (рис. 2), но вышеуказанная группа в данной классификации не учитывается. Предлагается при разработке новых плазматронов учитывать данный параметр и вносить в их конструкцию необходимые элементы, повышающие качество наплавки и снижающие потери порошка [8]. В частности, при использовании материалов с содержанием карбида вольфрама предлагается при наплавке использовать воздушную завесу (рис. 3), которая защищает плазменную струю от потерь порошка путём её обжаривания. Потери порошка при этом снижаются не менее, чем на 30%, так как защитный газ направляет вылетающие частицы обратно в струю плазмы и соответственно в зону наплавляемого металла. Кроме того, повышается стабильность горения дуги и более качественное формирование наплавляемого шва вследствие выравнивания скоростей подачи и плавления порошка.

Схема плазматрона (рис. 3) используется на установке плазменно-порошковой наплавки для восстановления и упрочнения рабочих органов

глубококорыхлителей, разработанной на кафедре «Технический сервис» Оренбургского ГАУ (заявка на изобретение № 2017123409).

Вывод. В результате использования предложенных зависимостей нахождения параметров плазменной наплавки выбирается необходимый режим процесса, учитывающий использование применяемых наплавочных материалов. Конструкции установок для наплавки и плазматронов должны соответствовать условиям формирования качественного покрытия при заданном режиме. Использование воздушной завесы при плазменной наплавке снижает потери порошка на 30%.

Литература

1. Учкин П.Г. Анализ способов восстановления рабочих органов глубококорыхлителей / П.Г. Учкин, В.А. Шахов, С.А. Соловьёв, М.И. Филатов // Инженерному образованию – научную основу: матер. национ. рос. науч.-технич. конф. Оренбург, 2018. С. 18–23.
2. Соловьёв С.А., Шахов В.А., Аристанов М.Г. Технология восстановления лемеха плуга фирмы // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 113. С. 245–248.
3. Шахов В.А., Аристанов М.Г. Надёжность культиватора Smaragd LEMEKEN в условиях Оренбургской области // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № S10-2. С. 166–168.
4. Шахов В.А. Повышение долговечности лемехов плуга фирмы LEMKEN / В.А. Шахов, М.Г. Аристанов, А.А. Аверкиев, В.И. Кваشنников // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 2 (34). С. 57–59.
5. Шахов В.А., Рогов В.Е., Чернышев В.П. Практикум по основам надёжности сельскохозяйственной техники: учебники и учебные пособия / Допущено Минсельхозом РФ для студентов вузов по агроинженерным специальностям. Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2000. 76 с.
6. Соловьёв С.А. Практикум по ремонту сельскохозяйственных машин / С.А. Соловьёв, В.Е. Рогов, В.П. Чернышёв, В.А. Шахов [и др.]. М.: Колос, 2007. 336 с.
7. Шахов В.А., Учкин П.Г. Технология восстановления и упрочнения рабочих органов глубококорыхлителей // Повышение конкурентоспособности российской сельскохозяйственной продукции на внутренних и внешних рынках: матер. междунар. конгресса. СПб.: Экспофорум, 2017. С. 222–223.
8. Чернышёв В.В., Шахов В.А., Учкин П.Г. Курсовое проектирование по организации ремонта в мастерских хозяйств: учеб. пособ. Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2016. 82 с.
9. Учкин П.Г., Шахов В.А. Использование порошков с добавлением карбида вольфрама для плазменной наплавки рабочих органов глубококорыхлителей // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 6 (68). С. 92–96.
10. Шахов В.А., Учкин П.Г., Шаркаев Р.Р. Применение плазменной наплавки при восстановлении рабочих органов глубококорыхлителей с целью повышения их долговечности // Современные тенденции в науке, технике, образовании: матер. междунар. науч.-технич. конф. Смоленск, 2018. С. 97–99.
11. Рогов В.Е. Практикум по надёжности технических систем сельскохозяйственных машин: учеб. пособ. / В.Е. Рогов, В.П. Чернышёв, В.А. Шахов, П.Г. Учкин. Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2012. 75 с.