

УДК 621.791.927.5

Макаренко Н. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМА-МИГ НАПЛАВКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОРОШКОВОЙ ПЛЮЩЕНКИ И РАЗРАБОТКА НАПЛАВОЧНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Высокая стоимость ходовых колес гусеничных тракторов, широко используемых в сельском хозяйстве и в горнодобывающей промышленности Украины, а также недостаточный срок их службы, объясняющийся условиями интенсивного износа при их эксплуатации, требует создания новых наплавочных материалов и оборудования для их нанесения, что делает решение проблемы их восстановления актуальной задачей [1, 2].

Цель научных исследований – повышение срока эксплуатации ходовых колес тракторов за счет разработки наплавочно-восстановительного материала и оборудования для его нанесения, учитывающих особенности плавления электродного материала при процессе плазменной наплавки.

Задача исследований: изучить характер износа ходовых колес гусеничных тракторов; провести исследование переноса электродного металла при плазменной наплавке с аксиальной подачей порошковой плющенко, с учетом которого и с учетом математического моделирования определения оптимальных технологических режимов изготовления плавящегося электрода [1], разработать состав его шихты и специализированное наплавочное оборудование.

В результате исследования характера износа ходовых колес гусеничных тракторов установлено, что он является весьма интенсивным. Например, в производственных условиях обод изнашивается до толщины менее 5 мм. Кроме того установлено, что края обода имеют еще меньшую толщину после износа, чем обод (что обусловлено наличием литейных уклонов на колесе). В связи с этим (при выборе способа наплавки) необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1 – наплавка должна вестись с малой погонной энергией (во избежании прожогов обода, особенно у краев изделия);

2 – процесс наплавки должен быть высокопроизводительным, так как только лишь на один трактор необходимо наплавить 18 штук колес.

Данным требованиям наиболее отвечает процесс плазменной наплавки с аксиальной подачей плавящегося электрода, достоинствами которой являются: высокая концентрация тепловой мощности и минимальная ширина зоны термического влияния; возможность получения толщины наплавляемого слоя толщиной от 0,1 мм до нескольких миллиметров; возможность наплавки различных износостойких материалов (медь, латунь, пластмасса) на стальную деталь; возможность выполнения плазменной закалки поверхности детали; относительно высокий КПД дуги (0,2–0,45); малое (по сравнению с другими видами наплавки) перемешивание наплавляемого материала с основой, что позволяет достичь необходимые характеристики покрытия уже в первом-втором слоях [2, 3].

Известно [4–9], что применение в качестве плавящегося электрода порошковых проволок расширяет возможности плазменного процесса восстановления и упрочнения, но наиболее перспективным направлением развития способа (в настоящее время) является использование при плазменном методе нанесения покрытия порошковой плющенко [10].

Применение порошковой плющенко целесообразно в связи с тем, что при ее поперечном расположении (к вектору скорости наплавки) образуется широкая ванна жидкого металла с небольшой глубиной проплавления. Известно [10], что тепловой поток в плавящемся электроде от плазменной дуги (при данном виде наплавки) относительно невелик (это касается режимов, при которых отсутствует двойное дугообразование). В этом отношении плющенко имеет преимущество перед порошковой проволокой круглого сечения. Так, ее поверхность теплообмена с плаз-

менной дугой значительно больше, а эффективность ее нагрева в плазменной дуге значительно выше нагрева порошковой проволоки (за счет чего производительность плавления плющенко является большей, чем производительность плавления порошковой проволоки).

Проведен анализ материалов, стойких к механическому изнашиванию (в частности, к абразивному). Определено, что они должны обладать структурой, в максимальной степени отвечающей принципам синергетического подхода к неравновесным системам. В качестве наиболее эффективных рассматриваются материалы, соответствующие аустениту – в частности, наплавочные сплавы, в которых сформирована структура метастабильного аустенита или аустенит (определенного химического состава) присутствует наряду с мартенситом, карбидами и др. фазами и структурными составляющими. Рассеяние подводимой к рабочей поверхности энергии при внешнем воздействии наиболее эффективно производится микрогетерогенной структурой с метастабильным аустенитом, превращающимся в дисперсный мартенсит в процессе эксплуатации. Самоорганизация структуры, обусловленная релаксационными процессами при образовании мартенсита, и формирование сжимающих напряжений с высоким уровнем деформационного упрочнения поверхностного слоя обеспечивают высокую стойкость при контактном воздействии на поверхность [11].

Проведены исследования особенностей процесса плавления плющенко при плазменном процессе (на рабочих режимах наплавки) [12] (рис. 1), которые учитывались при разработке шихты состава порошковой плющенко (в качестве прототипа использовался состав порошковой проволоки, описанной в работе [13]), обеспечивающий при плазменной наплавке получение высокоизносостойкого слоя.



Рис. 1. Процесс плавления порошковой плющенко разработанного состава

Однако (как показали испытания) при применении данного состава в качестве шихты порошковой плющенко выявлены следующие недостатки: повышенное разбрызгивание, что приводит к засорению сопла плазмотрона; неудовлетворительное качество формирования наплавленного валика, а также большая глубина проплавления основного металла (в следствие того, что при наплавке плющенко невозможно выйти на режимы, характерные для наплавки порошковой проволокой).

Известно [14], что при наплавке плющенко образуется более широкая ванна с развитой поверхностью, усиливается поглощение ванной кислорода, образующегося при распаде поташа в сварочной дуге и, как следствие, усиливается кипение сварочной ванны.

С целью уменьшения разбрызгивания поташ исключен из состава шихты, а для введения в дугу легкоионизируемых элементов никель борфтористый заменен на натрий борфтористый. Кроме того, в состав шихты порошковой плющенко введен калий фторцирконат, что позволило не только резко уменьшить разбрызгивание, но и улучшить формирование краев наплавленного валика. В виду того, что ходовые колеса (кроме абразивного износа) испытывают также значительные механические нагрузки (для предотвращения выкрашивания их поверхности) из состава шихты исключили карбид кремния и увеличили содержание марганца, причем часть марганца ввели в виде ферромарганца, в следствие чего наплавленный металл и имеет структуру метастабильного аустенита (рис. 2), а также обладает достаточной вязкостью. Поверхностный слой наплавленного металла (при давлении ходового колеса на гусеницы) испытывает мартенситное превращение и приобретает повышенную твердость, что приводит к повышению его износостойкости (в процессе контактного нагружения при обкатывании остаточный аустенит в наплавленном слое метастабилен и претерпевает мартенситное превращение, повышающее релаксационную способность структуры и увеличивающее её способность к деформационному упрочнению). Повышению износостойкости способствует также наличие в наплавленном металле карбидов хрома, титана, ванадия, нитрида ванадия. Оптимизация шихты порошковой плющенко по износостойкости; по стойкости к трещинообразованию и выкрашиванию металла в процессе эксплуатации, а также по качеству формирования наплавленного валика; по глубине проплавления позволила выйти на следующий состав шихты, масс. %: натрий борфтористый – 4,2–5,4; калий фторцирконат – 3,4–4,8; хром – 22–27; титан – 3–3,6; ванадий азотированный – 2,2–3,0; марганец – 26–28; ферромарганец – остальное.

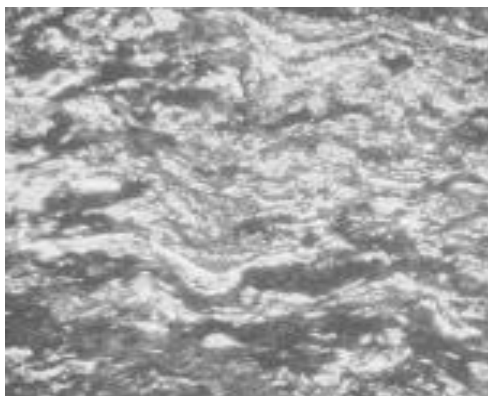


Рис. 2. Структура слоя, наплавленного разработанной порошковой плющенко

Для оболочки порошковой плющенко применялась стальная лента марки 08кп, сечением 0,5×16 мм. Коэффициент заполнения составил 26%. Для оптимизации технологических режимов изготовления порошковой плющенко использовалась известная математическая модель [1]. Относительная износостойкость наплавленного металла определялась на машине НК. Из наплавленного металла вулканическим кругом вырезали образцы размером 10×10×80 мм, вставляли их в гнезда машины таким образом, что рабочим оказывался торец размером 10×10 мм, после чего прикладывали нагрузку в 10 кг (скорость трения составляла 0,6 м/с).

В качестве эталона использовали образец (таких же размеров) из отожженной стали 45. Определялась относительная износостойкость. Длительность испытания составляла 100 ч. Проведенные испытания показали, что износостойкость наплавленного металла в 4,82 раза выше износостойкости эталона.

Следует отметить, что в реальных условиях стойкость наплавленного металла оказалась несколько ниже (в 3,6–3,8 раза) из-за высоких контактных нагрузок, приводящих к возникновению мелких трещин и выкрашиванию металла. Однако учитывая, что было обеспе-

чено увеличение показателя срока службы колес в 3,6–3,8 раза, данный состав порошковой плющенко пригоден и для наплавки ходовых колес тракторов.

Наплавка колес проводилась на ранее разработанной установке плазменной наплавки, основной частью которой является источник питания, изготовленный на базе серийного выпрямителя ВДУ-504, который позволяет осуществлять питание одновременно трех дуг: дуги плавящегося электрода и обеих дуг неплавящихся электродов, что исключило вопрос необходимости применения трех отдельных источников питания для осуществления процесса наплавки. Процесс наплавки практически не сопровождался разбрызгиванием, наблюдалась стабильное горение дуг. Для процесса плазменной наплавки порошковой плющенко применен разработанный плазмотрон с двумя неплавящимися вольфрамовыми электродами, диаметром 6 мм. Диаметр плазмообразующего сопла составляет 8 мм, длина канала – 4,8 мм. Режимы наплавки отрабатывались на трубчатых образцах (диаметром 320 мм) с толщиной стенки 5 мм. Материал образцов – Сталь20. Установлено, что минимальное разбрызгивание наблюдается при токах плавящегося электрода 460–488А, при этом ток каждого из неплавящихся электродов составляет 75–90 А. Определено, что при уменьшении токов неплавящихся электродов до 60А разбрызгивание увеличивается. Исследования показали, что увеличение токов неплавящихся электродов на величину, превышающую 90 А, приводит к увеличению глубины проплавления основного металла.

Установлено, что на глубину проплавления также влияет содержание в шихте порошковой плющенко натрия борфтористого. Исследования показали, что с увеличением содержания в составе шихты плющенко борфтористого натрия глубина проплавления увеличивается. Наличие в атмосфере дуги фтора, имеющего большое сродство к электрону, приводит к увеличению проплавающей способности дуги. Доказано, что содержание натрия борфтористого необходимо ограничивать до 5,4%, а в случаях, когда наплавка производится на более массивные изделия, содержание натрия борфтористого рекомендуется увеличивать.

Опытная наплавка ходовых колес тракторов производилась на следующем режиме: ток дуги плавящегося электрода – 460 А; токи плазменных дуг неплавящихся электродов $I_{пл1} = I_{пл2} = 80$ А; напряжение дуги плавящегося электрода – 22 В; напряжение плазменных дуг неплавящихся электродов – 27 В; диаметр плазмообразующего сопла – 8,2 мм; расход плазмообразующего аргона – 8 л/мин; скорость наплавки – 56 м/ч; производительность наплавки – 28 кг/ч. Наплавленные колеса имели ровную поверхность и в механической обработке не нуждались. Металлографический анализ поперечных шлифов наплавленного слоя показал (рис. 2), что структура покрытия имеет характерный, волнообразный характер расположения структурных составляющих. Травление выявляет несколько типичных цветов и оттенков структурных составляющих. После наплавки трещин не обнаружено. Микроструктура наплавленной поверхности представляет собой нерегулярный мозаичный набор дисперсных структурных составляющих различной величины, формы и цвета. Фрагменты структуры (размером примерно 10–50 мкм) имеют, в основном, неправильную или прямоугольную форму и по цветовой гамме повторяют описанную в поперечном сечении.

Считаем перспективным продолжить комплекс исследований (опираясь на опыт, полученный в работах [15–17]) и в результате разработать гамму порошковых плющенко, предназначенных непосредственно для плазменного процесса с аксиальной подачей плавящегося электрода, обеспечивающих заранее заданный состав наплавленного металла различного назначения (например, работающего в условиях ударных и термоциклических нагрузок и т.д.).

ВЫВОДЫ

1. Исследования показали, что для восстановления изделий типа ходовых колес гусеничных тракторов целесообразно применять плазменную наплавку с применением порошковой плющенко (изготовленной на оптимизированных технологических режимах, основанных на методе математического моделирования), с шихтой следующего разработанного состава,

мас. %: натрий борфтористый – 4,2–5,4; калия фторцирконат – 3,4–4,8; хром – 22–27; титан – 3–3,6; ванадий азотированный – 2,2–3,0; марганец – 26–28; ферромарганец – остальное.

2. Установлено, что повышение содержания в шихте порошковой плющенки натрия борфтористого в количествах, превышающих величину 5,4%, приводит к увеличению глубины проплавления основного металла, что недопустимо при наплавочно-восстановительных работах.

3. Доказано, что оборудование для процесса плазменной наплавки может базироваться на основе серийных выпрямителей типа ВДУ. Установлено, что величина оптимальных токов плазменных дуг неплавящихся электродов должна находиться в пределах 75–90 А.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грибков Э. П. Изготовление порошковой плющенки для восстановительной наплавки / Г. Э. Грибков, А. В. Шевченко // Вестник двигателестроителя.
2. Достанко А. П., Плазменная металллизация в вакууме / А. П. Достанко, С. В. Грушецкий, Л. И. Киселевски. – Мн. : Наука и техника, 2013. – 279 с.
3. Хасуи А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки. – М. : Машиностроение. – 2015. – 67 с.
4. Макаренко Н. А. Плазменная наплавка с аксиальной подачей порошковой проволоки / Н. А. Макаренко // Автоматическая сварка. – 1998. – №12. – С.52–53.
5. А.с. 1378211. СССР, МКИ В23К 35/368. Порошковая проволока для наплавки / Карпенко В. М., Макаренко Н. А., Грановский А. В., Дубинин А. В. (СССР). – №4085412; Заявл. 07.07.86; Опубл. 16.01.87, Бюл. 1. – 2 с.
6. А.с. 1624844. СССР, МКИ В23К 35/368. Состав порошковой проволоки для наплавки / Катренко В.Т., Макаренко Н. А., Гавриш П. А., Грановский А. В., Дубинин А. В. (СССР). – №4602305; Заявл. 04.11.88; Опубл. 6.01.89, Бюл. 1. – 2 с.
7. А.с. 1600179. СССР, МКИ В23К 35/368. Порошковая проволока / Карпенко В. М., Макаренко Н. А., Гавриш П. А., Грановский А. В., Дубинин А. В. (СССР). – №4619399; Заявл. 12.12.88; Опубл. 6.01.89, Бюл. 14. – 2 с.
8. А.с. 1575476. СССР, МКИ В23К 35/368. Состав порошковой проволоки / Карпенко В. М., Грановский А. В., Гавриш П. А., Макаренко Н. А., Дубинин А. В. (СССР). – №4491328; Заявл. 10.10.88; Опубл. 5.08.89, Бюл. №16. – 2 с.
9. Макаренко Н. А. Восстановление штоков гидропрессов с помощью плазма-МIG наплавки / Н. А. Макаренко, В. Н. Ластовиця, Н. А. Грановский // Машиностроение и инженерное образование. – Москва : МГИУ, 2010. – №2(33). – С.9–14
10. Счастливец В. М. Роль принципа метастабильности аустенита Богачёва-Минца при выборе износостойких материалов / В. М. Счастливец, М. А. Филиппов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2005. – № 1. – С. 6–9.
11. Макаренко Н. О. Удосконалення устаткування для експериментального вивчення електроенергетичних характеристик дугового розряду перемінного току / Н. О. Макаренко, В. В. Чигарьов, О. М. Корнієнко // Захист металургійних машин від поломок. Міжвуз. тематичн. зб.наук. праць. – Вип.8. – Маріуполь : ПДТУ, 2005. – С. 224–226.
12. А.с. 1582491 СССР, МКИ В23 К 35 / 368. Состав порошковой проволоки для износостойкой наплавки / В. М. Карпенко, А. В. Грановский, Н. А. Макаренко, А. В. Дубинин, П. А. Гавриш (СССР). – №4609880; Заявл. 28.11.88; Опубл. 30.12.91, Бюл. №9. – 3 с.
13. Макаренко Н. А. Разработка шлаковой системы порошковой плющенки для плазма-МИГ наплавки алюминиевых сплавов / Н. А. Макаренко // Сварка и родственные технологии – настоящее и будущее. Сб.тезисов Междунар.конф. 25-26 ноября 2013г. – Киев: ин-т электросварки НАН Украины, 2013. – С. 176.
14. Чигарев В. В. Исследование структурной неоднородности наплавленного металла и её влияние на работоспособность пресс-форм / В. В. Чигарев, Н. А. Макаренко, К. А. Кондрашов // Тр. 11 Междунар. научн. конф. «Современные проблемы электрометаллургии стали». – Челябинск: Южно-Уральский государственный университет. – 2001. – С. 102–103.
15. Чигарев В. В. Улучшение формирования наплавленного слоя при плазма-МИГ наплавке / В. В. Чигарев, Н. А. Макаренко, К. А. Кондрашов // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук.пр. – Маріуполь, 2009. – Вип.9. – С.153–155.
16. Исследование стабилизирующих свойств шихты порошковой проволоки галогенного типа для плазма-МИГ процессов / А. Н. Корниенко, Н. А. Макаренко, А. В. Грановский, К. А. Кондрашов // Тр. Междунар. Конф. «Сварочные материалы». – Орел, 2001. – С. 74.
17. Макаренко Н.А. Плазменная наплавка с аксиальной подачей порошковой проволоки / Н. А. Макаренко // Автоматическая сварка. – 1998. – № 12. – С. 52–53.