

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗНОШЕННЫХ ТРИБОПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ С МЕТАЛЛОПОРОШКОВОЙ КОМПОЗИЦИЕЙ

Кураш В. В., к.т.н., доцент; Кудина А.В., инженер;
Титов Ю. И., к.т.н., доцент; Солоневич О.В., инженер
*Белорусский государственный аграрный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь*

Отечественный и зарубежный опыт показывают, что для повышения износо- и коррозионной стойкости деталей машин широко применяются защитные металлопокрытия, наносимые электротермическими способами. Требуемые свойства металлопокрытия обычно получают легированием, то есть введением в его состав легирующих примесей. Методы легирования и способы нанесения металлопокрытий взаимосвязаны – выбранный способ, как правило, диктует рациональный метод легирования и, наоборот, эффективный метод легирования требует применения соответствующего способа его нанесения.

При электродуговой наплавке сплошным проволочным электродом с введением порошкового материала химический состав наплавленного металла определяется концентрацией легирующих элементов в основе, электродной проволоке и порошковой присадке. В композиционном слое металлы основы и металлы проволоки образуют матричный сплав, в который вплавлены твердосплавные частицы присадки. При наплавке гомогенного покрытия все три составные части перемешиваются, образуя монолитный слой [1].

Известно [1,2], что обработка жидкого металла порошками и металлическими добавками, обеспечивающая создание развитой контактной поверхности расширяющих фаз, активизирует реакции на границе твердая фаза – жидкость, ускоряет диффузионные процессы, интенсифицирует раскисление и легирование металла. Использование газопорошковых смесей для активирования электродуговой наплавки путем интенсификации процессов легирования имеет ряд особенностей. Объем жидкого металла в сварочной ванне, как правило, не превышает 1-2 см³, а его масса – 10г. Из-за этого практически невозможна продувка газопорошковой смеси через расплав, и единственным реальным методом ввода порошковой присадки является его выдувание на поверхность сварочной ванны. Важным условием при этом является тщательный подбор скорости газопорошковой смеси. Это связано с тем, что высокоскоростная струя может нарушить формирование наружной поверхности покрытия, вызвать седлообразность наплавляемых валиков, наплавки, выплескивание жидкого металла из ванны. Струя с малой скоростью не обеспечивает проникновения частиц с небольшой плотностью на необходимую глубину, а это приводит к неравномерности легирования покрытия по высоте. Размеры зоны ввода порошка не должны превышать размеров зеркала сварочной ванны. В противном случае возрастают потери дорогостоящего порошкового материала. Присадку целесообразно подавать в ту часть ванны, которая имеет оптимальную температуру, и конвективные потоки в которой обеспечивают равномерное легирование наплавленного металла.

При нанесении износостойких слоев, состоящих из твердых частиц, распределенных в более мягкой матрице, особое внимание следует уделять 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 порошково-

го присадочного материала феррохрома, 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 [1,3].

Известно, что наружный слой электрода при плавлении стекает непосредственно в ванну, минуя каплю [3]. Такой характер плавления электрода существенно влияет на характер легирования. Металлические легирующие добавки, попадая в ванну, не успевают полностью раствориться и равномерно распределиться в расплаве. В результате возрастает макрхимическая неоднородность наплавленного металла. Такой процесс плавления электрода можно использовать в технологии наплавки при формировании многослойных покрытий. Так, создание многослойного покрытия, в котором износостойкие частицы расположены в наружном слое, позволит в известной степени избежать их растворения в расплаве, что уменьшит охрупчивание матрицы сплава и сохранит износостойкие частицы от разрушения при высоких температурах дуги.

Нами проведены эксперименты по влиянию присадочного материала на формирование наплавленной поверхности проволокой СВ-08Г2С ГОСТ 2246-70 диаметром 1,2 мм с использованием в качестве присадочного материала феррохром ФХ-800А грануляцией 300-500мкм. Сравнительные наплавки выполнялись с помощью наплавочной установки и специального соплового устройства, подающего газопорошковую смесь в зону наплавки. Варьируя количеством порошкового материала, подаваемого в расплав металла, исследовали глубину проплавления основного металла и твердость поверхности полученных слоев. В качестве основного материала использовались заготовки Ø 60 мм из стали 20.

Расчетное ориентировочное количество подаваемого в зону наплавки порошка определялось по следующей зависимости:

$$q = \frac{a l \rho}{t} \cdot 2 \sqrt{\alpha t_c} \ln \frac{T_B}{T_{пл}} - B$$

где q - количество подаваемого порошка в единицу времени, г/с;

a - ширина наплавленного слоя, см;

l - длина участка наплавки, см;

ρ - плотность основного металла, г/см³;

t - продолжительность наплавки, с;

t_c - общее время взаимодействия металла сварочной ванны с основным металлом, с;

α - коэффициент температуропроводности основного металла, см²/с;

T_B - средняя температура сварочной ванны, К;

$T_{пл}$ - температура плавления основного металла, К;

B - глубина проплавления основного металла, см.

С целью снижения макрхимической неоднородности наплавленной поверхности и разбрызгивания металла при наплавке применен способ и устройство (рисунок 1.) для электродуговой наплавки с подачей присадочного порошка в защитной газовой оболочке. Способ обеспечивает подачу порошка в расплав металла газовой струей, причем создаваемая при наплавке защитная газовая оболочка защищает сварочную ванну и плавящийся электрод с порошком от внешней среды, причем газовая оболочка оказывает газодинамическое влияние на дугу. Газовый поток защитного газа (СО₂) взаимодействует с потоками дуги, приводит к ее сжатию, уменьшению потока и длины дуги, увеличению коэффициента расплавления электрода и снижению степени прогрева основного металла. Равномерное распределение присадочного порошка в газовой струе и его подача по всей поверхности сварочной ванны в расплав металла способствуют более полному распределению в наплавленной поверхности порошкового присадочного материала [4, 5].

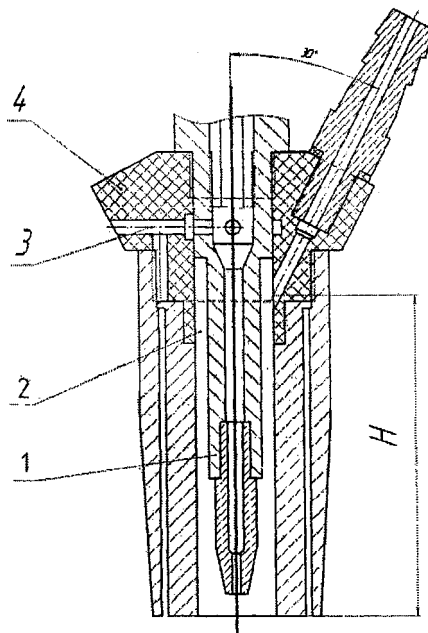


Рисунок 1 – Устройство для подачи газопорошковой смеси в зону наплавки:
 1 – токосъемник, 2 – цилиндрическая полость; каналы, подающие защитный газ;
 4 – распределитель; 5 – штуцер для подачи порошковой смеси

Геликоидная подача порошкового материала внутри защитной газовой оболочки создает винтовое перемещение газопорошковой смеси вдоль электрода и равномерное распределение частичек порошка по сечению струи. Такой газопорошковый поток входит в зеркало расплава металла не перпендикулярно, а под углом к поверхности зеркала, что гасит силу удара частичек порошка о поверхность и снижает разбрызгивание металла. Кроме этого, такое введение порошка позволяет вводить присадку в заданную зону расплава металла ванны и способствует формированию однородных структур с равномерным распределением легирующих элементов. Для дозирования присадочного порошкового материала и создания газопорошковой смеси, подаваемой в наплавочную ванну, было применено дозирующее устройство. Газопорошковая смесь по гибким шлангам поступает в распределитель устройства подачи смеси. Изменяя скорость вращения дозирующего диска, можно изменять количество порошка, идущего на образование газопорошковой смеси, что позволяет с достаточной точностью (~ 10%) и в широких пределах изменять расход присадочного порошка (от 0,0001 до 0,001 кг/с).

Для проведения экспериментов было рассчитано количество подаваемого в сварочную ванну порошка ($q = 0,4; 1,4$ и $2,3$ г/см) при заданных режимах электродуговой наплавки, причем для каждого последующего эксперимента величина « q » рассчитывалась, исходя из фактически полученной глубины проплавления « B ».

Расчетные значения количества подаваемого в зону наплавки порошка проверялись экспериментально, исходя из следующих соображений: при увеличении (выше расчетной) подачи порошок не успевает расплавиться и сдувается дугой и защитным газом; при уменьшении (ниже расчетной) подачи порошка происходит увеличение глубины проплавления основного металла.

Заданные технологические режимы наплавки и результаты экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технологические режимы наплавки и глубина проплавления основного металла

Параметры	Номера экспериментов			
	1	2	3	4
1. Количество подаваемого порошка, г/с	нет	0,4	1,4	2,3
2. Сила тока, А	195	170	190	210
3. Напряжение дуги, В	26	22	24	28
4. Скорость подачи проволоки, м/ч	152	172	185	198
5. Вылет электрода, мм	10	12	12	14
6. Число оборотов наплавляемой детали, б/мин	0,5	0,6	0,8	1,0
7. Ширина наплавленного валика, мм	5	7	9	11
8. Высота наплавленного валика, мм	3	3	3	3
9. Длина наплавленного валика, мм	20	20	20	20
10. Плотность основного металла, г/см ³	7,8	7,8	7,8	7,8
11. Частота колебаний электрода, Гц	1	1	1	1
12. Коэффициент температуропроводности основного металла, см ² /с	0,08	0,08	0,08	0,08
13. Время взаимодействия металла ванны с основным металлом, с	25	17	11	9
14. Средняя температура сварочной ванны, К	2283	2073	2073	2073
15. Температура плавления основного металла, К	1870	1870	1870	1870
16. Глубина проплавления основного металла, мм	1,40	0,82	0,73	0,6

Для сравнительного анализа и выявления влияния присадочного материала и способов его подачи на глубину проплавления основного металла изготавливались образцы наплавочных валиков с присадочным материалом и без него. Из полученных образцов изготавливались макрошлифы. Методы испытаний и оценка макроструктуры осуществлялись при помощи микроскопа ММР-4.У4.2. Результаты экспериментов сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Глубина проплавления основного металла при различных способах подачи порошка

Способы подачи порошка в расплав металла	Глубина проплавления основного металла, мм		
	Параметры экспер. 2 с подачей порошка 0,4 г/с	Параметры экспер. 3 с подачей порошка 1,4г/с	Параметры экспер. 4 с подачей порошка 2,3г/с
1. В хвостовую часть	1,2	0,9	0,85
2. На вылет электрода	0,9	0,8	0,7
3. В защитном газе	0,82	0,73	0,6

Металлографический анализ наплавочных слоев показывает, что глубина проплавления основного металла при электродуговой наплавке электродной проволокой изменяется с введением порошкового присадочного материала. С увеличением количества подаваемого порошка глубина проплавления основного металла уменьшается. Это можно объяснить тем, что часть энергии дуги идет на расплав порошка, чем снижается общий энергозатрат в расплав основного металла.

Для структуры наплавленных слоев с присадочным материалом характерна максимальная концентрация хрома и углерода в верхней части покрытия. Концентрация легирующих элементов в наплавленных слоях неравномерна: она заметно снижается от поверхности к основному металлу. Формирование верхнего слоя происходит по аустенитной кинетике с высокой концентрацией хрома, что повышает износостойкость покрытия. Для этого слоя харак-

терно насыщение легирующими элементами поверхности толщиной 30-50 мкм, обладающей высокой износостойкостью. Снижение содержания хрома в покрытии от поверхности к основному металлу приводит к сокращению остаточного аустенита, возрастает количество мартенсита в покрытии, увеличивается твердость. Формирование покрытий в такой закономерности позволяет получить высокую относительную износостойкость поверхности ($\varepsilon = 3,2-3,5$) при твердости 50-52 HRC₃.

Твердость наплавленной поверхности на полученных образцах измерялась в различных точках по поперечному сечению наплавленного валика и представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Твердость наплавленных слоев по сечению наплавленного валика

Наименование слоя в сечении наплавленного валика	Интервал измерений слоя, мм	Твердость слоя HRC ₃ экспериментов		
		2	3	4
Верхний слой	0 - 1	44-46	48-50	50-52
Средний слой	1 - 2	36-42	40-45	42-48
Переходная зона	2 - 3	26-32	28-36	30-38
Основной металл	5 - 6	24-26	24-26	24-26

Результаты экспериментальных исследований показывают, что с изменением количества присадки, подаваемой в сварочную ванну, изменяется глубина проплавления основного металла. Эти изменения зависят от параметров режима наплавки.

Для структуры сформированных наплавочных валиков характерна неравномерность распределения легирующих элементов, что в определенной степени сказывается на физико-механических свойствах наплавленного металла. Оптимальная длина вылета электрода находится в интервале 10-20 мм. Для проведения исследований вылет электродной проволоки составлял 10-15 мм. На таком расстоянии закупорки выходного отверстия сопла не происходили. Наплавка осуществлялась по схеме перекрытием валиков при $V_n = 9,8$ м/ч и подачей порошка $\sigma = 0,4$ г/с и $\sigma = 2,3$ г/с.

Установлены зависимости глубины проплавления основного металла и высоты наплавочного валика от силы тока и напряжения дуги (в интервале $I = 170 - 250$ А; $U = 22-30$ В) при постоянной подаче присадочного материала. По полученным результатам экспериментов построены зависимости, представленные на рисунке 2.

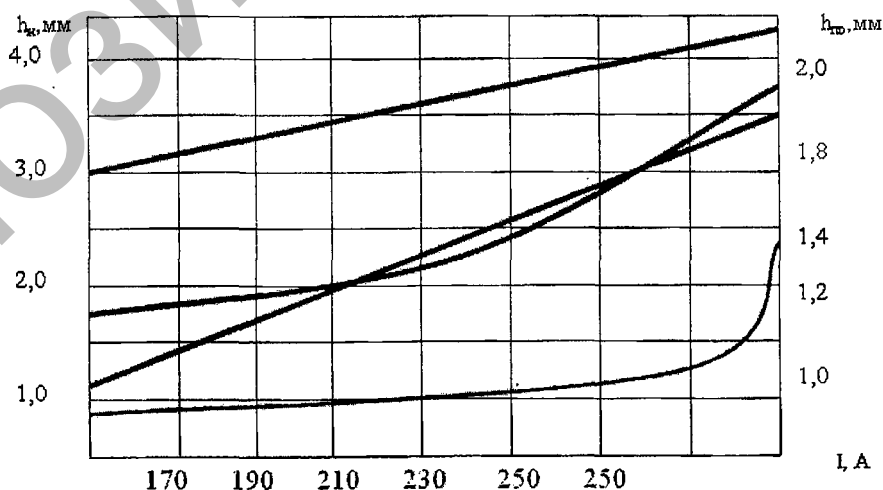


Рисунок 2 – Зависимость высоты валика, h_n и глубины проплавления, $h_{пр}$ основного металла от силы тока и напряжения.

Выводы. Анализ полученных результатов показывает, что наиболее оптимальными режимами наплавки с введением присадочного материала грануляции 300-500мкм являются: сила тока $I=180-200A$, $U = 23-26V$. Ниже этих параметров происходит потеря части присадочного материала, который, не успевая раствориться в расплаве металла, сдувается защитным газом. Выше указанных параметров происходит более глубокое перемешивание порошка с расплавом, что затрудняет получить в верхних слоях наплавленного валика заданную износостойкость покрытия. Кроме того, увеличение мощности дуги приводит к выгоранию легирующих элементов, что отрицательно сказывается на физико-механических характеристиках наплавленного слоя.

В результате исследований установлено, что для заданных режимов наплавки при строго определенном количестве подачи в расплав металла порошковой присадки достигается минимальная глубина проплавления основного металла. Так, при наплавке поверхностей электродной проволокой СВ-08Г2С глубина проплавления основного металла достигла 1.4 мм в то время как при наплавке проволокой с порошковой присадкой она понижалась до 0,6 мм. Отмечено, что характерной особенностью структурообразования наплавленной поверхности является неравномерное распределение легирующих элементов в наплавленном слое по глубине валика.

Исследовано влияние силы тока и напряжения на глубину проплавления и высоту наплавочного слоя. Установлено, что изменение этих параметров при постоянной величине подачи присадки влияет на глубину проплавления и высоту наплавочного валика до определенных величин, по достижении которых высота наплавки уменьшается, а глубина проплавления увеличивается.

Отработаны режимы технологического процесса электродуговой наплавки в среде CO_2 электродной проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2мм в диапазоне изменения технологических параметров: напряжение сварки – 21-34В, сварочный ток – 100-350А, расход CO_2 – 7-15л/мин, скорости подачи электродной проволоки 180-540м/час, подаче присадочного порошка – 0,5-3 кг/час.

Полученные результаты исследований могут использоваться в разработках технологических процессов электродуговой наплавки с порошковой присадкой при восстановлении изношенных деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорожкин Н.Н., Петюшев Н.Н. Дуговая газопорошковая наплавка. – Мн.: Беларусь, 1989. – 94с.
2. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и наплавление. – М.: Машиностроение, 1985.-240с.
3. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. Под ред. Б.Е. Патона – М.: Машиностроение, 1974. – 768с.
- 4.Ивашко В.С., Кураш В.В., Кудина А.В., Лисай А.Н. Электродуговая наплавка металлоповерхностей в среде защитного газа с поперечными колебаниями электрода.//сб. науч. статей 10-й Международной научно-практической конференции «Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин и механизмов оборудования, инструмента и технологической оснастки. – С-Петербург: изд-во политех. университет. 2008. 1 – С. 126-132.
5. Спиридонов Н.В., Кураш В.В., Кудина А.В. и др. Влияние режимов и способов введения порошковой присадки на качество наплавленного слоя в среде углекислого газа. // Вестник БНТУ. – Мн., № 6 – 2007. – 24-27с.

Аннотация

Восстановление изношенных трибоповерхностей деталей машин электродуговой наплавкой с металлопорошковой композицией

Проведены эксперименты по влиянию порошкового присадочного материала на формирование металлоповерхности при электродуговой наплавке в среде углекислого газа. Подача газопорошковой струи в расплав металла осуществлялась с помощью специального соплового устройства. Установлено, что при выбранных режимах наплавки и оптимальном количестве вводимой в расплав порошковой присадки, глубина проплавления основного металла уменьшается, а формообразование наплавленной поверхности осуществляется с высокой концентрацией легирующих композиций в поверхностном слое, что повышает износостойкость покрытия. Результаты исследований могут использоваться в технологиях восстановления изношенных деталей узлов и механизмов машин и технологического оборудования.

Abstract

Restoration of the worn out surfaces of details of machines by electroarc drawing of a metal powder composition

Experiments on influence of a powder material on formation of a surface are lead at electroarc drawing a covering in the environment of carbonic gas. Submission of a powder jet in metal was carried out by means of the special device. It is established, that at the chosen modes of drawing of a covering and optimum quantity of a powder additive entered into volume, depth of profusion of the basic metal decreases, and reception of a surface is carried out with high concentration of alloying compositions in a superficial layer that raises wear resistance of a covering. Results of researches can be used in technologies of restoration of the worn out details of units and mechanisms of machines and the process equipment.

УДК 621.791.92.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАПЛАВЛЕННЫХ И УПРОЧНЕННЫХ ПОКРЫТИЙ С СУБСТРУКТУРОЙ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Титов Ю.И., к.т.н., доцент; Кураш В.В., к.т.н., доцент;
Солонович О.В., инженер

*Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

В современном ремонтном производстве особое внимание уделяется повышению ресурса восстановленных деталей за счет применения упрочняющих технологий. Известно, что восстановление деталей и их последующее упрочнение экономически целесообразно, так как является основой для ресурсо- и энергосбережения [1]. Большинство деталей машин (> 80%) теряют свою работоспособность из-за изнашивания или комплексных причин, в которых изнашивание играет главную роль. Исследования износостойкости наплав-