

## Список информационных источников

1.Ерохин А. А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности. «Машиностроение », 1973. 448 с., С. 344-345.

### ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКА ПР-Х18ФНМ

*Гончаров А.В., Дегтерёв А.С.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Дегтерёв А.С., ассистент кафедры  
оборудования и технологий сварочного производства*

#### Введение

Согласно классическим представлениям [1] оптимальным режимом процесса наплавки следует считать такой режим, который обеспечивает максимальную производительность при минимальной глубине проплавления. Но возможности повышения производительности и уменьшения доли основного металла в наплавленном покрытии, в рамках конкретных технологий наплавки и составов присадочного материала, ограничены рядом предъявляемых к упрочняющим слоям требований. Это отсутствие несплавлений, подрезов, пор и трещин, удовлетворительный внешний вид валиков, удовлетворительное микростроение зоны сплавления и покрытия в целом, однородность этого микростроения. Множество работ содержат информацию о связи основных параметров режима плазменной наплавки и геометрическими размерами покрытий [1,2], эта связь понятна и хорошо изучена.

Автором же работы [3] подчеркивается необходимость выбора режима наплавки и термической обработки, с учетом конкретных данных об их влиянии на фазовый состав и структуру наносимого сплава. Так в последнее время выполняется все больше исследований, связывающих режим плазменной наплавки, микроструктуру и свойства покрытий [3-6].

Цель настоящей работы: разработать алгоритм выбора оптимального режима плазменной наплавки порошка Пр-Х18ФНМ с учетом влияния основных параметров этого режима как на макростроение, так и на микроструктуру получаемого покрытия.

## Результаты и обсуждение

В результате проведения литературного обзора установлено, что качество Fe-Cr-V-Mo-C покрытий характеризуют величины, которые условно можно разделить на две группы:

-параметры макроструктуры (ширина ( $B$ ), высота ( $H$ ) наплавленного слоя, площадь наплавленного металла ( $F_n$ ), коэффициент формы валика ( $\psi_e$ ), доля участия основного металла в наплавленном покрытии ( $\gamma$ ), пористость, наличие трещин и несплавлений).

-параметры микроструктуры (средние по сечению объемная доля частиц карбида ванадия ( $V_{VC}$ ), их фактор формы ( $f_{VC}$ ), средний диаметр ( $d_{VC}$ ), число ( $N_{VC}$ ), объемная доля эвтектики на основе карбида  $M_7C_3$  ( $V_{M7C3}$ ) расстояния между дисперсными включениями VC ( $H_{VC}$ ) и колониями эвтектики ( $H_{M7C3}$ ), объемная доля  $\alpha$ - твердого раствора в матрице сплава ( $V_\alpha$ )).

Анализ литературы показал, что для получения обобщенной информации о влиянии различных параметров режима наплавки на величины, характеризующие упрочняющие покрытия, сокращения количества экспериментов, уменьшения погрешностей и финансовых затрат подходит метод многофакторного планируемого эксперимента. Данная методика позволяет, опираясь на результаты немногочисленных опытов, получить функциональные зависимости, хоть и не раскрывающие физическую природу явлений, но количественно описывающие влияние тех или иных параметров режима на ход процесса наплавки.

Практические эксперименты по плазменной наплавке порошковых Fe-Cr-V-Mo-C сплавов ниточными валиками, проведенные в [7, 8] позволили сделать следующий вывод. Основными варьируемыми параметрами режима, оказывающими наиболее сильное влияние на макроструктуру и микростроение формируемых покрытий, являются: сила тока плазменной дуги ( $I$ ), скорость наплавки ( $V_n$ ) и скорость подачи присадочного порошка ( $V_p$ ). Потому для получения системы уравнений регрессии (системы функций отклика), связывающих отклики  $B$ ,  $H$ ,  $F_n$ ,  $\psi_e$ ,  $\gamma$ ,  $V_{VC}$ ,  $f_{VC}$ ,  $d_{VC}$ ,  $N_{VC}$ ,  $V_{M7C3}$ ,  $H_{VC}$ ,  $H_{M7C3}$ ,  $V_\alpha$  с факторами  $I$ ,  $V_n$ ,  $V_p$  достаточно провести полный факторный эксперимент типа  $2^3$ .

Однако, для нахождения оптимального режима наплавки получения системы уравнений недостаточно. Установим направление оптимизации каждой из этих функций (таблица 1).

Поскольку в уравнениях регрессии, образующих систему, не всегда совпадают знаки коэффициентов перед варьируемыми факторами, а абсолютные величины этих коэффициентов всегда различны,

одновременное достижение наилучших значений в одном покрытии всех откликов невозможно. Имеет место лишь компромиссное решение задачи оптимизации, т.е. нахождение экстремума для одной функции при ограничениях, налагаемых другими.

Крайний допустимый уровень значений откликов будем называть “удовлетворительно”, предпочтительный же уровень - “отлично”.

Таблица 1

Параметр оптимизации	$H$	$B$	$F_H$	$\psi_\epsilon$	$\gamma$	$V_{VC}$	$f$	$d$	$N$	$V_{MTC3}$	$H_{MTC3}$	$H_{vc}$	$V_\alpha$
Направление оптимизации	const	max			min	max		min	max		min		

Для осуществления поиска компромиссного решения необходимо преобразование системы уравнений регрессии в систему неравенств, знак которых покажет направление оптимизации функции отклика, а правая часть - ограничивающий уровень (“удовлетворительно” или “отлично”).

На основании вышеизложенного предложены следующие два алгоритма. При оптимизации по микроструктурному параметру - числу частиц  $VC$  ( $N_{VC} \rightarrow max$ ), остальные микроструктурные функции и доля основного металла в наплавленном покрытии ограничиваются на уровне “отлично”, высота наплавленного слоя устанавливается равной конкретной величине, а оставшиеся макроструктурные функции ограничиваются уровнем “удовлетворительно”. Такой подход целесообразно использовать, когда требуется максимально высокая износо- и коррозионная стойкость в ущерб производительности процесса.

Второй вариант предполагает оптимизацию по макроструктурному параметру - коэффициенту формы валика ( $\psi_\epsilon \rightarrow max$ ), высота наплавленного слоя снова устанавливается равной конкретной величине, микроструктурные параметры и доля основного металла в наплавленном покрытии - на уровне “удовлетворительно”, оставшиеся макроструктурные параметры - на уровне “отлично”. Так оптимизацию целесообразно проводить в случае необходимости обеспечения высоких требований к производительности процесса наплавки в ущерб уровню

износо- и коррозионностойких свойств получаемых покрытий, выдерживаемых, однако, в допустимых пределах.

Опираясь на результаты работы [9], для поиска оптимальных параметров режима плазменно-порошковой наплавки возможно использование процедуры “Поиск решения” пакета MS Excel. В этой процедуре для решения нелинейных задач предусмотрен метод обобщенного приведенного градиента (ОПГ).

### Список информационных источников

1. Эрмантраут М.М., Комаров В.А. Влияние полярности на формирование слоев при плазменно-порошковой наплавке на сталь // Сварочное производство. – 1986. – № 5. – С. 2–4.

2. Розенберг М.Г., Поздеев Г.А. Определение основных параметров режимов плазменно-порошковой наплавки // Сварочное производство. – 1989. – № 12. – С. 5–6.

3. Шевченко О.И. Управление структурой, составом и свойствами покрытий при плазменной наплавке за счет технологических воздействий: Дис. ... д-ра техн. наук. – Екатеринбург, 2006. – 355 с.

4. Белый А.И. Влияние основных технологических параметров плазменной наплавки на свойства композиционного наплавленного металла // Автоматическая сварка. – 2010. – № 6. – С. 30–32.

5. Сом А.И.. Плазменно-порошковая наплавка композиционных сплавов на базе литых карбидов вольфрама // Автоматическая сварка. – 2004. – № 10. – С. 49–53.

6. Чернышов Г.Г., Коберник Н.В., Орлик Г.В., Орлик А.Г. Влияние технологии дуговой наплавки на структуру и стойкость покрытий на основе железа против гидроабразивного износа// Сварка и диагностика. – 2012. – № 3. – С. 23–29.

7. Дегтерёв А.С., Гнюсов С.Ф. Влияние технологических параметров плазменной порошковой наплавки током прямой полярности на формируемую структуру Fe–Cr–V–Mo–C покрытий //Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 2. – С. 87–94.

8. Гнюсов С. Ф., Дегтерёв А. С. Влияние режимов плазменной наплавки на микроструктуру карбида ванадия в покрытиях на основе порошка ПР-Х18ФНМ // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. –№ 2. – С. 63–71.

9. Ворохобин Сергей Владимирович. Технологическое управление качеством при восстановлении чугунных деталей судового

оборудования плазменной наплавкой: Дис. ... канд. техн. наук: 05.08.04.  
– Владивосток, 2004. – 180 с.

## ИМПУЛЬСНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ТОКА

*Гордиенко Н.С., Князьков А.Ф., Маурин Е.О.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Князьков А. Ф., к.т.н., доцент кафедры  
оборудования и технологии сварочного производства*

В настоящее время целесообразно создание систем импульсного управления сварочным током на базе импульсно – регулируемого сопротивления (ИРС). Функциональная схема ИРС представлена на рисунке 1.

Функциональная схема системы импульсного управления плавлением и переносом электродного металла представлена на рисунке 1. Система состоит из сварочного выпрямителя В, модулятора сварочного тока, построенного по принципу импульсно-регулируемого сопротивления (ИРС) и блока управления БУ. Дуга шунтируется диодом VD. В состав модулятора входит балластный реостат R, шунтируемый полупроводниковым ключом К. При разомкнутом ключе К в сварочной цепи протекает ток паузы, при замкнутом – ток импульса. Частота импульсов сварочного тока  $f_H$  определяется частотой замыканий ключа К, а их длительность  $\tau_H$ , либо в зависимости от параметров процесса, например, напряжения дуги  $U_d$ .

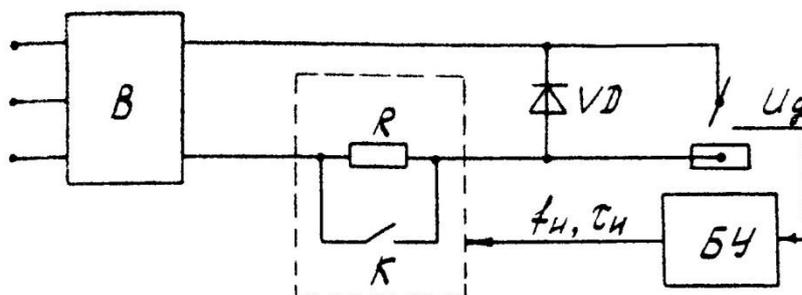


Рисунок 1 – Функциональная схема системы импульсного управления

Функциональная схема системы импульсного управления плавлением и переносом электродного металла представлена на рисунке 1. Система состоит из сварочного выпрямителя В, модулятора сварочного тока, построенного по принципу импульсно-регулируемого сопротивления (ИРС) и блока управления БУ. Дуга шунтируется диодом VD. В состав модулятора входит балластный