

УДК 621.791.927.5

А.К. Горлов, канд. техн. наук,  
Е.П. Рогачев, канд. техн. наук,  
А.М. Жуков,  
С.Н. Лашко

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ДОЗИРОВАННОЙ АРГОНО-ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ**

При исправлении дефектов на поверхности изделий точечной аргоно-дуговой дозированной наплавкой точность нанесения капель электродного металла зачастую определяет качество заварки дефекта в целом. Смещение центра области нанесенного металла приводит к браку в виде незаполненного углубления в зоне разделки дефекта, низкой прочности соединения наплавленного и основного металлов.

Величина смещения области нанесенного металла относительно области нанесения металла (которая в данном случае совпадает с зоной разделки дефекта) характеризует точность нанесения металла. Основными факторами, определяющими точность нанесения электродного металла, являются: точность установки детали относительно головки; интенсивность блуждания электродных пятен дуги и мощность потоков паров металла в пятнах дуги, вызывающих раскачивание капли на торце электрода; мощность и неравномерность восходящих потоков газа, обуславливающих отклонение траектории капли от оси электрода; несимметричность обдувания капли защитным газом за счет несовершенства конструкции наплавочной головки, несоосность приложения управляющего газодинамического воздействия силам, удерживающим каплю на электроде.

В целях повышения точности нанесения металла рассматривались и изучались такие способы повышения пространственной устойчивости дуги: выбор оптимальных параметров выходного канала ограничительного сопла: программное управление сварочного тока; выбор оптимальных параметров электрода [1].

Названные выше способы, как правило, приводили в той или иной степени к повышению точности нанесения, но имели определенные недостатки.

Выбор оптимальных параметров выходного канала ограничительного сопла проводился в направлении его уменьшения, чтобы ограничить область блуждания катодного пятна дуги, что позволило повысить равномерность разогрева зоны наплавки и точность нанесения капли, но с увеличением сварочного тока давление дуги на каплю увеличивалось, что приводило к ее отклонению от оси электрода и касанию стенок сопла. После отрыва капли достаточно часто наблюдалось попадание ее на стенки канала сопла. Кроме того,

такие сопла выбираются с учетом размеров капель жидкого металла, а следовательно, их область применения ограничена.

Учитывая, что размеры разделки зависят от размера дефекта и меняются в значительном диапазоне, то необходимо иметь большое количество ограничительных сопел. Кроме того, частая замена ограничительного сопла снижает оперативность работ.

Параметры электрода в значительной степени влияют на точность нанесения капли. Для того чтобы сформировать каплю металла требуемой массы, необходимо расплавить требуемый объем электродного металла, который при точечной дуговой наплавке определяется диаметром электрода и шагом подачи. При заданной массе (объеме) капли с увеличением диаметра электрода длина вылета уменьшается, и наоборот.

Наиболее эффективным способом повышения точности нанесения капли является программное изменение величины сварочного тока. Суть его заключается в том, что после формирования капли заданной массы и нагрева детали сварочный ток значительно снижается, что приводит к значительному снижению давления дуги на каплю. Капля под действием силы веса устанавливается вдоль оси электрода, что повышает точность ее нанесения. Установлено, что чем больше время от момента снижения тока до момента отрыва, тем более точно капля устанавливается вдоль оси электрода и тем выше точность ее нанесения. Установлено также, что величина сварочного тока при этом должна составлять не более 0,2...0,25 основного сварочного тока. В противном случае наблюдается заметное снижение точности. Однако при таких значениях токов наблюдается остывание капли и поверхности изделия, что ведет к снижению жидкотекучести наносимого металла и уменьшению площади расплавления наплавленного металла с изделием.

В связи с этим для пространственной стабилизации сварочной дуги было предложено применять продольное неоднородное магнитное поле [2]. Под действием такого поля заряженные частицы движутся по суживающейся спирали, стягиваясь к оси вращения. Экспериментальные исследования показали, что дуга в таком магнитном поле имеет форму конуса, обращенного вершиной к катоду, при этом «блуждания» вершины конуса не наблюдается, в формировании капли протекает без отклонений от оси электрода.

Учитывая многообразие и сложность оценки факторов, влияющих на точность нанесения, она оценивалась экспериментально. На медную подложку 1 (рис. 1) с разметкой, которую устанавливали на специальную подставку 2 по шпилькам 3, наносили каплю расплавленного металла 4. Установка стола подставки осуществлялась с помощью микровинтов до совпадения центра разметки закрепленной подложки с осью электрода 5. Положение

наплавочной головки оставалось неизменным для всей серии экспериментов.

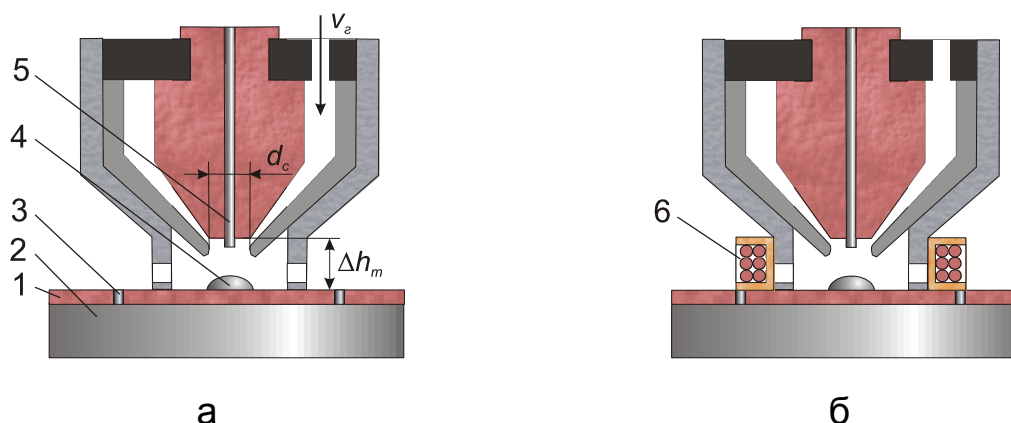


Рисунок 1 – Схема стенда при определении точности нанесения металла: а – без закрутки магнитным полем; б – с закруткой магнитным полем

Влияние магнитного поля на точность нанесения металла исследовали в двух сериях экспериментов. Первая серия экспериментов была проведена на наплавочной головке без магнитного поля (рис.1, а), вторая – с использованием соленоида на сопловой части головки (рис.1, б). Соленоид 6 располагали на сопловой части. При проведении экспериментов были выбраны режимы наплавки, обеспечивающие уверенный перенос металла. После наплавки отклонение центра нанесенного металла от центра разметки определялось на приборном столе инструментального микроскопа

Положение центра нанесенного металла находили по формулам

$$X = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2}, Y = \frac{Y_{\max} + Y_{\min}}{2}, \quad (1)$$

где  $X_{\max}$ ,  $X_{\min}$  - расстояние до крайней точки области наплавленного металла в плане в продольном направлении;  $Y_{\max}$ ,  $Y_{\min}$  - расстояние в поперечном направлении (рис. 2, а).

Отклонение центра определяли по выражению

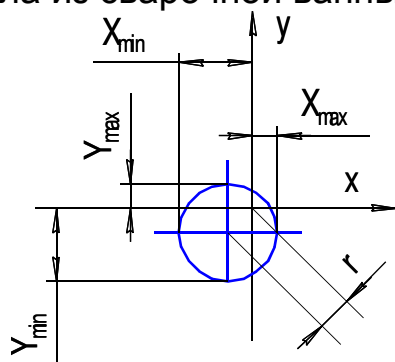
$$r = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (2)$$

Исследовалась точность нанесения металла при различном расстоянии от изделия до тора мундштука  $\Delta h_m$ . С увеличением расстояния точность уменьшается. Увеличивается блуждание опорных пятен дуги, падает концентрация теплового потока. Минимальное расстояние ограничено размерами капли и условием недопущения замыканием дугового промежутка между каплями и поверхностью изделия, которое приводит к резкому повышению силы тока и неконтролируемому переходу капли в сварочную ванну.

Экспериментально установлено, что расстояние между поверхностью детали и торцом мундштука должно составлять не менее 3 – 4 диаметров электрода. С увеличением диаметра электрода

уменьшается отношение диаметра капли к диаметру электрода, ухудшаются условия газодинамического воздействия, усложняется процесс управляемого переноса капли, что приводит к снижению точности нанесения.

Уменьшение соотношения диаметра фокусирующего сопла  $d_c$  к диаметру капли приводит к увеличению точности нанесения капли металла. При этом растет вероятность контакта жидкого металла с фокусирующим соплом, что приводит к срыву процесса. Выбор диаметра фокусирующего сопла в диапазоне  $d_c = 1.2 \dots 1.4 d_k$  позволяет обеспечить приемлемую стабильность процесса. Увеличение скорости газа в момент импульса  $v_{2.u.}$  за счет увеличения давления в ресивере улучшает точность нанесения, но чрезмерное увеличение энергии импульса приводит к выплескиванию металла из сварочной ванны.



а



б

Рисунок 2 – Отклонение центра наплавленной точки относительно разметки:  
а – схема к расчету отклонения; б – фотокадр эксперимента

Увеличение расхода защитного газа и добавление в защитный газ гелия приводит к повышению пространственной устойчивости дуги, другими словами – «отшнуровованию» дуги вдоль оси канала, вероятно, за счет интенсивного охлаждения наружных слоев столба дуги потоком защитного газа [3]. Блуждание анодного пятна по поверхности капли уменьшается, что увеличивает точность нанесения капли. Однако слишком значительный расход защитного газа увеличивает аэродинамическое давление на каплю электродного металла, что усложняет ее управляемый перенос.

В исследуемом диапазоне режимов наблюдается некоторое увеличение точности нанесения металла при увеличении тока с одновременным снижением времени сварки. Увеличение тока приводит к увеличению пространственной стабильности дуги, однако при этом увеличивается мощность сил, действующих на каплю жидкого металла во время ее формирования и переноса, снижается точность дозирования, ухудшаются условия управляемого переноса.

При сдуве капли с задержкой горения дуги точность нанесения снижается. Это связано с интенсивными восходящими потоками и

давлением дуги на каплю жидкого металла, что вызывает отклонение капли от оси электрода. Кроме того, процесс горения дуги становится неустойчивым. В момент отрыва капли дуга часто обрывается.

При выключении дуги мощность восходящих потоков уменьшается, положение капли на торце электрода стабилизируется. Важным параметром является время задержки сдува  $t_{cd}$ . С увеличением  $t_{cd}$  точность нанесения увеличивается, однако за счет высокой теплопроводности алюминия температура капли и сварочной ванны быстро уменьшается, ухудшаются условия отрыва капли газодинамическим способом. Плавное снижение тока в конце цикла позволяет уменьшить мощность потоков при поддержании температуры капли на должном уровне, что позволяет улучшить точность нанесения капли.

Применение продольного магнитного поля с индукцией  $B = 3...9 \cdot 10^{-4}$  Тл повышает точность нанесения капли. Связано это с тем, что при нагреве разделки дуга в основном горит с боковой поверхности капли, что приводит к ее отклонению от оси электрода. Наложение магнитного поля вызывает радиальные перемещения опорных пятен дуги, смещение анодного пятна к нижней части капли, сжатие столба дуги относительно оси соленоида, который устанавливается соосно с соплом наплавочной головки. С увеличением напряженности магнитного поля и силы тока скорость перемещения пятен возрастает.

Чрезмерно высокая напряженность магнитного поля вызывает дробление капли, процесс плавления и переноса металла становится нестабильным.

Обработку экспериментальных данных осуществляли методами математической статистики (табл. 1). Для двух исследуемых режимов строили гистограмму распределения значений отклонения центра нанесенного точки от оси электрода (рис. 3).

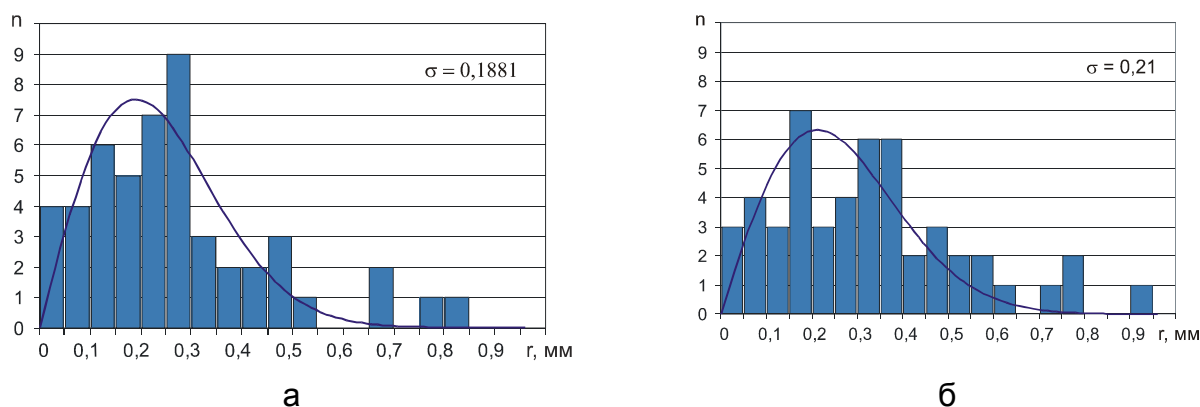


Рисунок 3 – Гистограмма распределения отклонения центра нанесенного металла (материал 1201,  $d_3 = 2$  мм,  $I_d = 60$  А;  $\Delta h_m = 7$  мм;  $t_d = 1.0$  с): а – без закрутки магнитным полем; б – с закруткой магнитным полем

Таблица 1 – Параметры распределения значений отклонения центра нанесенной капли от оси электрода

Способ наплавки	Параметры распределения, мм		
	Математическое ожидание, M(r)	Мода $\sigma$	Предельное отклонение
Без магнитного поля	0,2846	0,21	0,814
С магнитным полем	0,23	0,1881	0,728

Если считать, что отклонения центра нанесенного металла  $X$  и  $Y$  — независимые случайные величины, распределенные по нормальному закону и имеющие нулевые математические ожидания и одинаковые дисперсии, то величина отклонения по радиусу, вычисляемая по формуле (2), подчиняется распределению Рэля [4]

$$f(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right), \quad (3)$$

где  $\sigma$  – мода, параметр масштаба.

Как видно из табл. 1, применение магнитного поля позволяет повысить точность нанесения металла на 10-20%. Кроме этого, перемещение опорных пятен дуги по периметру разделки, вызванное магнитным полем, положительно влияет на стабильность размеров сварочной ванны и, как следствие, форму усиления сварного шва. Уменьшается процент брака в виде незаполненных углублений в зоне разделки, повышается прочность соединения основного и наплавленного металлов.

#### Список использованных источников

1. Рогачев Е.П. Особенности аргодуговой наплавки выступов на листовой заготовке из алюминиевых термически упрочняемых сплавов. // Авиационно-космическая техника и технология: сб. науч. тр. – Харьков-Рыбачье, 1998. – С. 40-45
2. Горлов А.К. Применение магнитного поля для стабилизации формы выступа при аргодуговой дозированной наплавке/ А.К. Горлов, А.М. Жуков, Е.П. Рогачев, С.Н. Лашко // Вісті академії інженерних наук України.- 2009. - №1(38). – С. 251-254.
3. Замков В.М. Про контракцію зварювальної дуги в сумішах інертних газів/ В.М. Замков, П.В. Порицкий, В.П. Прилуцький // Доповіді Нац. акад. наук України. – 2005. – №7. – С. 77-82.
4. Гурский Е.И. Теория вероятностей с элементами математической статистики / Е.И. Гурский. – М.: Высш. шк., 1971. – 328 с.