

УДК 621.791.793

Кассов В. Д., Иванык А. В.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ПРИ ЗАВАРКЕ ДЕФЕКТОВ ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫМ СПОСОБОМ

Современные условия, в которых происходит развитие и рост машиностроительной промышленности, ставят перед производством задачу повышения качества выпускаемой продукции без значительного увеличения энергетических затрат [1, 2]. Для решения этой задачи одну из основных ролей играет электрошлаковая сварка, которая является ведущим технологическим процессом в области тяжелого машиностроения и отлично зарекомендовала себя при сварке металлов больших толщин [3, 4]. Также электрошлаковые технологии находят все большее применение и в ремонтных работах не только по месту эксплуатации оборудования, но и при его изготовлении [5, 6]. Так, например, электрошлаковая сварка помогает эффективно устранять внутренние дефекты литья поковок любых размеров, путем высверливания отверстия в месте расположения дефекта и заварки его. Основным критерием качественной заварки глухого отверстия электрошлаковым способом является абсолютное сплавление основного и присадочного металла [1]. Поэтому важно совершенствование технологии электрошлаковой сварки, которая позволит достичь качественного сплавления основного и присадочного металла при заварке глухого отверстия, что возможно только на оптимальных значениях режима сварки.

Цель работы – определение оптимальных параметров режима для получения качественного сплавления основного и присадочного металла при заварке электрошлаковым способом отверстия на образцах, выполненных из стали 35.

Условием стабильности электрошлакового процесса является постоянство температуры шлаковой ванны, иначе говоря, равенство получаемого и отдаваемого тепла. Именно стабильность процесса обеспечивает качественное сплавление поверхности разделки с присадочным металлом [1, 4].

Чтобы электродный металл надежно сплавлялся с основным, поверхность последнего должна быть предварительно оплавлена и иметь температуру, близкую к температуре плавления. При сварке вертикальных швов металл кромок, оплавляемых шлаком, стекает вниз, образуя общую ванну с электродным металлом. В результате оплавления кромок над металлической ванной всегда образуется незаполненная металлом полость. В тех случаях, когда кромки основного металла начинают плавиться значительно выше поверхности металлической ванны, кромки, находящиеся непосредственно над ванной, могут оказаться охлажденными ниже температуры плавления. В этом случае возможно так называемое несплавление. При несплавлении кромки оказываются оплавленными, но они не сплавляются с металлом шва [5, 6].

Несплавление становится возможным при слишком высоком напряжении сварки, чрезмерно глубокой шлаковой ванне и при использовании шлаков, мало меняющих свою электропроводность и вязкость с температурой. При нормальных характеристиках шлаков и правильно выбранных режимах сварки преждевременному оплавлению препятствуют тепло- и электроизоляционная прослойка, образуемая шлаком у холодных кромок изделия.

Однако, стабильность процесса не является достаточным условием для достижения надежного сплавления всей поверхности разделки с присадочным металлом. Поскольку в начале электрошлакового процесса шлаковая ванна имеет еще сравнительно малый объем и не может оплавить удаленные от ее центра стенки разделки, то необходимо придать донной части отверстия форму чаши или конуса [1]. В этом случае шлаковая ванна, постепенно увеличиваясь в объеме, будет достаточно хорошо оплавливать поверхность разделки.

Было исследовано влияние на качество сплавления основного и присадочного металла следующих параметров режима электрошлаковой сварки: U – напряжение на шлаковой ванне в момент наведения; I – сварочный ток.

За параметр оптимизации Y было принято качество сплавления основного и присадочного металла, оцениваемое в процентах при макроанализе продольных сечений швов образцов. За 100 % принимается полное сплавление при наличии непровара его длину, выраженную в процентах, вычитается из 100 %. Например, при наличии непровара длиной 10 мм на участке линии сплавления длиной 100 мм качество сварного соединения оценивалось в 90 %.

Исследование проводилось на образцах из стали 35 размером 160×160×160 мм, в одной из плоскостей которых сверлилось имитирующее разделку дефекта отверстие диаметром 60 мм, глубиной 100 мм с углом раскрытия конуса донной части 120° (рис. 1).

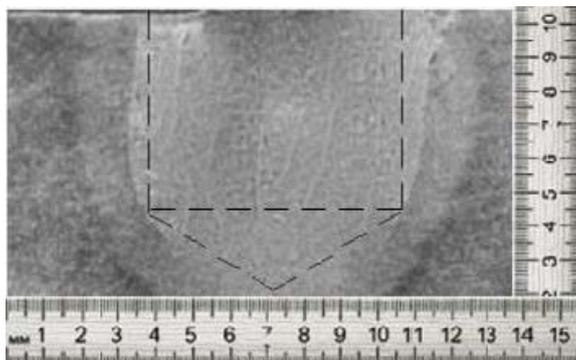


Рис. 1. Макроструктура отверстия, заваренного электрошлаковым способом

Каждый образец разрезался по центру наплавленной пробки, чтобы затем изготовить продольные макрошлифы сечений и по ним оценить качество сварного соединения.

Планирование эксперимента и обработка полученных данных производилась с использованием программы Statistica.

Для создания математической модели оценивалось влияние напряжения в шлаковой ванне в момент наведения U , сварочного тока I на качество сплавления основного и присадочного металла Y . По технологическим соображениям выбрана следующая область исследований: $U = 40\text{--}54$ В, $I = 650\text{--}750$ В.

После задания интервала значений факторов, программой был предложен рандомизированный порядок сбора экспериментальных данных. По предложенному плану был организован эксперимент, результаты которого представлены в табл. 1.

Таблица 1

Данные с результатами эксперимента

№ п/п	U , В	I , А	Y , %
1	47,00000	700,0000	95
2	40,00000	750,0000	92
3	47,00000	700,0000	95
4	40,00000	650,0000	92
5	54,00000	750,0000	96
6	54,54663	700,0000	100
7	54,00000	650,0000	100
8	47,00000	646,0955	95
9	47,00000	753,9045	93
10	39,45337	700,0000	92

На основе полученных данных в программе Statistica был выполнен анализ результатов эксперимента. Устанавливаем, что величина достоверности аппроксимации для зависимости $Y_1 = f(U, I)$ составляет $R_{кв.1} = 0,99086$. Это свидетельствует о том, что общее качество модели хорошее и модель представляется адекватной для описания отклика.

Рассмотрим также карту Парето (рис. 2). С помощью этой карты мы определяем значимость эффектов, какую дают исследуемые факторы.

Для исследования значимости эффектов, которые дают рассматриваемые факторы, было выполнено построение графика – карта Парето.

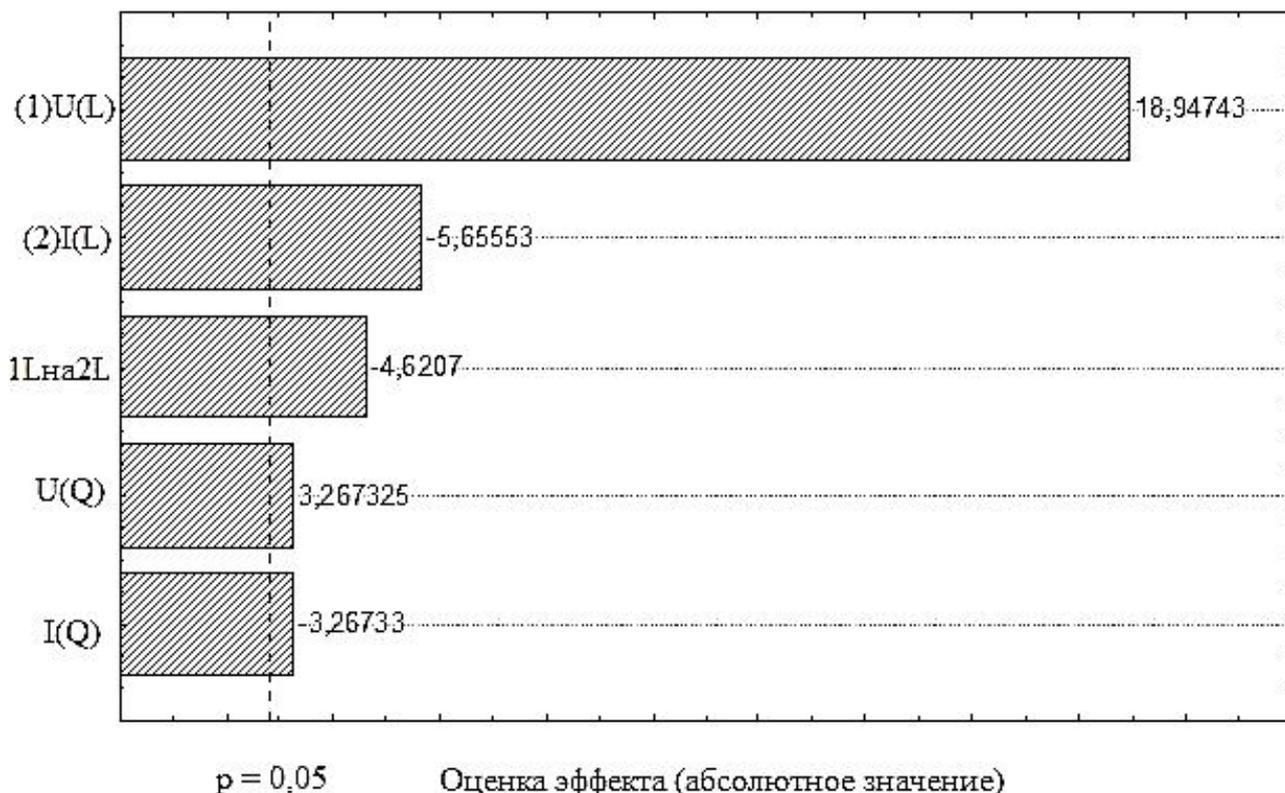


Рис. 2. Карта Парето

Анализируя карту Парето, видим, что члены уравнения математической модели дают эффекты, пересекающие вертикальную линию, которая представляет 95 %-ю доверительную вероятность. Однако максимальным достоверным и значимым эффектом является линейный член (1)U(L) (рис. 2).

После осуществляли в программе расчет коэффициентов регрессии. В результате чего получили математическую модель влияния напряжения U, сварочного тока I на качество сплавления основного и присадочного металла Y_1 :

$$Y_1 = -137,115 + 0,815 \cdot U + 0,018 \cdot U^2 + 0,597 \cdot I - 0,003 \cdot U \cdot I$$

После построения математической модели определили область значений факторов, в которой значение отклика Y являются максимальным (или минимальным). Для этого был использован график поверхности отклика (рис. 3, а).

Для более детального рассмотрения области максимума был построен контурный график зависимости отклика от заданных факторов (рис. 3, б). Из графика видно, что поверхность отклика Y проходит через экспериментальные точки. Эта поверхность имеет максимум, равный 100 %, что соответствует качественному сплавлению основного и присадочного металла.

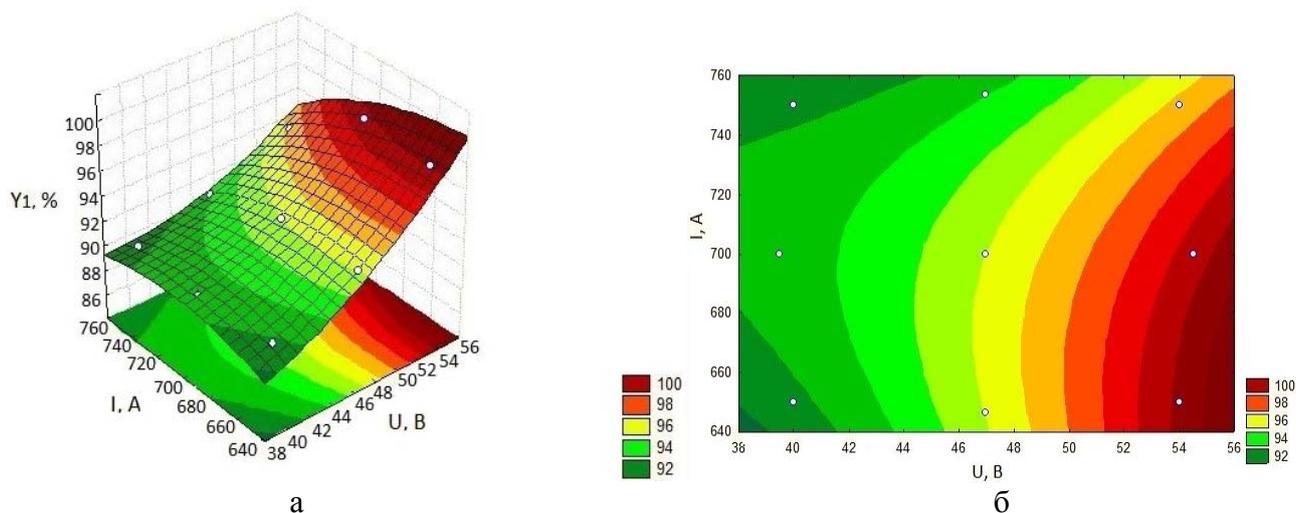


Рис. 3. Графики зависимости отклика Y от факторов U , I :
а – график поверхности отклика; б – контурный график

Анализируя контурный график (рис. 3, б), можно сделать вывод что при отметке напряжения $U = 54-56$ В оптимально допустим интервал значений силы тока $I = 650-700$ А.

ВЫВОДЫ

В результате исследования было установлено, что понижение значения сварочного тока приводит к уменьшению скорости подачи электрода, что влечет за собой снижение производительности, а иногда – уменьшение провара. При увеличении сварочного тока при неизменном напряжении сварки значительно быстрее тока растет скорость подачи электрода в зону сварки. При дальнейшем увеличении скорости подачи и сварочного тока повышается скорость сварки, а ширина шва уменьшается, что может привести к непроварам кромок и образованию горячих трещин внутри шва.

Также результаты исследования позволяют прогнозировать, как изменение режимов будут сказываться на качестве сплавления основного и присадочного металла, что позволит проводить заварку глухих дефектов на различных образцах из стали 35 на оптимальных значениях режима.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов В. М. Изготовление крупных сварных конструкций с применением электрошлаковой сварки : монография / В. М. Семенов – Краматорск : ДГМА, 2012. – 228 с.
2. Иванык А. В. Целесообразность использования электрошлакового процесса в тяжелом машиностроении. / А. В. Иванык, В. М. Семенов, В. Д. Кассов // *Материалы 4-й международной научно-технической конференции «Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном производстве»*. – Краматорск, 2013. – С. 118–120.
3. Кассов В. Д. Совершенствование электрошлаковых технологий в машиностроении / В. Д. Кассов, В. М. Семенов, А. В. Иванык // *Материалы девятой международной научно-технической конференции «Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования»*. – Вологда, 2014. – С. 101–104.
4. Semenov V. M. Manufacture of welded designs from the carbon and alloyed steels in machine building. / V. M. Semenov, A. V. Ivanyuk, M. Taric, V. S. Serif // *Metalurgia international*. – 2013. – № 9 (vol. XVIII). – P. 59–64.
5. Иванык А. В. Анализ эффективности электрошлаковых технологий с учетом современных требований к производственным условиям / А. В. Иванык, В. М. Семенов // *Материалы 4-й межвузовской научно-технической конференции «Энерго- и ресурсосберегающие технологии при эксплуатации машин и оборудования»*. – Донецк, 2012. – С. 41–43.
6. Технология ремонта трещин в станине ножниц слябинга / В. М. Семенов, А. В. Иванык, В. Д. Кассов, В. К. Заблоцкий. // *Сборник научных трудов «Надежность инструмента и оптимизация технологических систем»*. – Краматорск, 2012. – Вып. № 31. – С. 174–179.

Статья поступила в редакцию 10.06.2014 г.