

M 4121344

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ
УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

КУЧЕР АЛЕКСЕЙ ТИМОФЕЕВИЧ

УДК 621.791.048-52

РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ
МНОГОСЛОЙНЫХ ШВОВ ЛЕНТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ
(05.04.05 -Технология и машины сварочного производства)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва-1984

Работа выполнена в Воронежском политехническом институте.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ

- кандидат технических наук,
доцент ЧЕРНЫШОВ Г.Г.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОПОНЕНТЫ:

доктор технических наук,
профессор СТЕКЛОВ О.И.
кандидат технических наук,
профессор БЛИНОВ А.Н.

ВЕДУЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ - ВНИИМонтажопеастрой

Защита состоится "____" _____ 198__ г. на заседании специализированного совета К 053.15.03 в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени Высшем учебном заведении по адресу: 107006, г.Мос

В
лать

, просим высылать

С

МВТУ.

М 421344

М.ЯМКОЛЬСКИЙ

Подп
Зака

рек 100 экз.
и. Л-83470

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В отчетном докладе ЦК КПСС XXVI съезду партии выдвинута научно-обоснованная программа дальнейшего укрепления экономики страны. Программа нашла свое конкретное воплощение в проекте Основных направлений экономического и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года.

В указанных документах отмечается, что важнейшей хозяйственно-политической задачей является всемерное повышение эффективности производства. При этом главным фактором экономического роста должно стать повышение производительности труда, особенно в ключевых отраслях народного хозяйства, в том числе в промышленности.

Серьезные задачи выдвигаются перед машиностроением. Проектом Основных направлений предусмотрен в одиннадцатой пятилетке рост продукции этой отрасли не менее чем в 1,4 раза. Это потребует дальнейшего совершенствования технологии изготовления продукции энергетического, тяжелого, сельскохозяйственного и прочего машиностроения.

Наиболее широко распространенным технологическим процессом в этих отраслях является сварка и ведущее положение занимает дуговая автоматическая сварка под флюсом. Производительность данного способа сварки определяется максимальной плотностью и общей величиной тока в электроде, а также эффективностью использования энергии, расходуемой на нагрев и плавление электрода и изделия.

В настоящее время автоматическая сварка под флюсом выполняется, в основном, проволочными электродами. Данный тип электродов не позволяет значительно повысить производительность процесса, т.к. предельная плотность тока в нем не может достигать больших значений и низка эффективность его нагрева. Более перспективными в этом отношении являются ленточные электроды, которые приобретают многие положительные свойства благодаря прямоугольной форме поперечного сечения. Применение указанных электродов в сварочном производстве сдерживается отсутствием промышленной технологии сварки наиболее распространенных типов швов и соединений.

Целью работы является повышение производительности и качества автоматической сварки под флюсом многослойных швов за счет применения ленточного электрода.

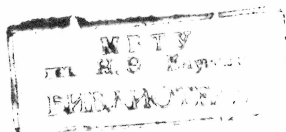
Методы исследования включали скоростную киносъемку открытой сварочной дуги и процесса плавления ленточного электрода с синхронным осциллографированием электрических параметров сварки, не-

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1421344

Кучер А.Т. Разработка обор



прерывную регистрацию положения дуги по ширине торца ленты путем замера и осциллографической записи алгебраической суммы падения напряжения на боковых её кромках, применение секционированного анода для оценки плотности тока в анодном пятне дуги, использование зондирующего тока для определения утечки сварочного тока через шлак, анализ форм чешуек на поверхности металла шва, механические испытания стандартных образцов на растяжение и ударный изгиб, металлографический анализ макроструктур сварных соединений.

Исследования проводились в лаборатории сварки плавлением кафедры "Оборудование и технология сварочного производства" Воронежского политехнического института. По некоторым разделам диссертационной работы научные консультации оказывал к.т.н. Орлов А.С. На отдельных этапах в работе принимали участие инженеры В.Н.Семькин (ВПИ), С.Г.Шустер, А.И.Жихарев, В.М.Щерошин, Г.Ф.Разуваев (ПО "Воронежмехтяжпресс"), А.М.Боженков (Воронежский завод алюминевых конструкций).

Научная новизна. 1. Установлено, что изменение формы электрода от круглой к прямоугольной (ленточной) при одной и той же площади поперечного сечения приводит к изменению вольт-амперной характеристики дуги с падающей (на проволоке) на возрастающую (на ленте), что является следствием сжатия дуги по толщине ленты и увеличения плотности тока в анодном пятне и обуславливает повышение анодного падения напряжения. Это вызывает увеличение энергии, выделяющейся на торце ленты, и является одним из основных факторов повышения производительности её плавления по сравнению с проволокой.

2. Показано, что увеличение протяженности плавящегося торца при постоянной ширине ленты приводит к чередованию периодов горения одной или двух дуг, в моменты существования которых величина тока в сварочной цепи не изменяется, но снижается падение напряжения в каждом из дуг в соответствии с их вольт-амперными характеристиками, что приводит к уменьшению энергии на торце ленты и снижению скорости её плавления. Установлено, что в исследованном диапазоне режимов с увеличением напряжения дуги и уменьшением протяженности плавящегося торца снижается предельное значение тока, при котором исключается появление двухдугового процесса.

3. Установлено, что нарушение формирования боковых кромок шва обусловлено неравномерным нагревом и расплавлением основного

металла, вызванным перемещением дуги по ленте.

Практическая ценность работы заключается в разработке на базе проведенных исследований оборудования и технологических рекомендаций по автоматической сварке под флюсом многослойных швов ленточным электродом. Проведенный расчетно-экспериментальный анализ условий нагрева основного металла позволил выбрать оптимальную форму поперечного сечения ленточного электрода, режимы и приемы оварки, обеспечивающие получение качественных соединений и повышение производительности сварки примерно на 30% по сравнению с аналогичной сваркой проволочными электродами.

Результаты диссертационной работы внедрены при оварке многослойных швов крупногабаритных зубчатых колес механических прессов на ПО "Воронежтяжмехпресс" и получен годовой экономический эффект в размере 28 тыс. рублей.

Технологические рекомендации и оборудование, предложенные в диссертации, могут быть использованы при разработке технологического процесса сварки многослойными швами изделий большой толщины на Воронежском ПО им. Коминтерна по выпуску экскаваторов, заводе горнообогатительного оборудования.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация оварочных процессов" МВТУ им. Н.Э.Баумана, Межотраслевой республиканской научно-технической конференции "Пути ускорения технического прогресса и повышения эффективности оварочного производства в республике" (Вильнюс, 1977 г.), Зональной научно-технической конференции "Пути повышения эффективности, качества и надежности в сварочном производстве" (Красноярск, 1979 г.), V Всесоюзной научно-технической конференции "Теплофизика технологических процессов" (Волгоград, 1980 г.), Конференции, посвященной 50-летию подготовки инженеров-сварщиков (Владивосток, 1980 г.), Всесоюзной научно-технической конференции "Экономия металла в машиностроении методами сварки" (Воронеж, 1983 г.).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В главе I проведен анализ возможностей плавящихся электродов различных типов, форм и сечений в обеспечении максимальной производительности плавления при автоматической сварке под флюсом. Данный показатель определяется количеством и эффективностью использования энергии, выделяющейся при прохождении тока по вилету, дуге и изделию. Дальнейшее повышение производительности

плавления проволочных электродов затрудняется ограниченной величиной и плотностью тока, допустимой для этих электродов, а удлинение вылета и применение дополнительных присадочных материалов, вводимых в сварочную ванну, связано с определенными трудностями. Более перспективным является ленточный электрод, имеющий повышенную скорость плавления по сравнению с проволочным в равных условиях. Это объясняется особенностями его плавления.

Современные представления о механизме нагрева и плавления электрода и изделия дугой основываются на трудах Н.Н.Рыкалина, Б.Е.Патона, И.К.Хренова, В.В.Фролова, А.Г.Мазеля, А.В.Петрова, А.И.Акулова, П.К.Походни, И.Г.Лескова, Г.М.Тиходеева, А.А.Ерохина и др. В них показано, что энергия дуги, расходуемая на плавление электрода, изделия и флюса, определяется падением напряжения (катодного, анодного и в столбе), величиной и плотностью тока. Применительно к ленточному электроду эти процессы изучали Л.К.Лещинский, А.Д.Размышляев, Т.Г.Кравцов, И.А.Шостак, Ю.В.Белюсов, И.Р.Пацкевич, Л.И.Опарин, В.И.Шетинина, М.Р.Николаенко и др., а также *G. Kretschmann*, *F. Eichhorn*, *U. Franz*, *K. Paul*, *K. Däne*.

Согласно работам указанных авторов, высокая производительность плавления ленточного электрода обусловлена увеличением плотности тока в сварочной дуге, повышенным термическим к.п.д. процесса каплеобразования, высокой температурой вылета. Однако, как отмечают исследователи, причины более высокой производительности плавления ленты изучены не полно, в частности, факторы, определяющие количество выделяющейся на электроде энергии (анодное падение напряжения, плотность тока) и эффективность ее использования.

Имеются сведения о применении ленточных электродов для сварки соединений различных типов (М.Н.Галченко, И.А.Шостак, К.В.Лялин, *W. Kipetz* и др.). Возникающие при этом трудности связаны с обеспечением качества сварки и заключаются в снижении устойчивости дугового процесса плавления ленты с переходом его в электрошлаковый. Появление электрошлакового процесса при сварке под флюсом объясняют, в основном, большими утечками тока через шлак и предлагается снижать электропроводность шлака. Однако в этом вопросе имеются противоположные мнения относительно влияния шлаковой среды на производительность плавления ленты. Видимо, это вызвано недостаточно полным учетом всех факторов, способствующих

нагреву вылета.

Формирование швов изучалось с точки зрения ориентировки и профилирования ленты, но не исследовалось влияние подвижности дуги на этот процесс.

Отмеченные выше процессы не исследованы для условий плавления ленты в разделке при сварке многослойных швов. Здесь имеются отличительные особенности, вызванные изменением формы и размеров вылета и удлинением плавящегося торца ленты при неизменной ее ширине.

Неясные или противоречивые сведения по этим вопросам затрудняют выбор оптимальных размеров и форм ленточных электродов, разработку специального оборудования и технологий сварки конкретных типовых соединений и швов (в частности многослойных) и тем самым препятствуют широкому применению лент в качестве электродов при изготовлении сварных изделий.

В связи с этим для достижения поставленной в данной работе цели необходимо решить следующие основные задачи:

1. Установить закономерности существования и энергетические характеристики сварочной дуги.

2. Выявить факторы, оказывающие влияние на устойчивость и производительность дугового процесса плавления ленточного электрода.

3. Определить особенности формирования сварных швов при сварке лентой.

4. Разработать оборудование, технологические приемы и технологию автоматической сварки под флюсом многослойных швов ленточными электродами.

Глава 2 посвящена исследованиям форм существования и вольт-амперных характеристик дуги, определению плотности тока в анодном пятне и оценке влияния этих факторов на производительность плавления ленточных электродов.

Существующие методики исследования дуги основаны на скоростной киносъемке и не позволяют осуществлять длительное непрерывное наблюдение дуги, необходимое при изучении нерегулярных процессов. В связи с этим были изучены закономерности распределения падения напряжения по ширине ленты при различных положениях и размерах дуги и в результате разработана методика длительной регистрации подвижности дуги, основанная на непрерывном измерении разности падения напряжения на боковых краях ленты. Это дало возможность,

в отличие от аналогичной методики А.Д.Размышляева, исключить описки в эксперименте, вызываемые случайными возмущениями сварочного тока.

С помощью предложенной методики и киносъемки установлено, что увеличение протяженности плавящегося торца, вызванное плавлением поперечно расположенной ленты сечением $28 \times 0,7$ мм в разделке, приводит к неперiodичному появлению второй дуги. В моменты горения двух дуг величина тока в сварочной цепи не изменяется и стремится к равномерному распределению между дугами, но наблюдается снижение напряжения в каждой из них. В результате этого уменьшается мощность в приэлектродных зонах дуги и снижается производительность плавления ленты.

Длительность совместного горения двух дуг увеличивается при удлинении торца, снижении тока и напряжения. Для указанной ленты и дуг длиной 3-8 мм получены предельные значения токов, при которых двухдуговой процесс исключается или становится единственно реальным (рис.1).

Энергетические характеристики сварочных дуг определяли на основании изучения статических вольт-амперных характеристик (ВАХ), при построении которых учитывали рекомендации Г.И.Мескова, Г.М.Тихоходеева и др. Установлено, что для данного ленточного электрода в диапазоне токов 240-1100 А и напряжений дуги 30-46 В статические ВАХ возрастающие (рис.2). На основании математической обработки экспериментальных данных получены уравнения ВАХ в следующем виде:

$$U_d - U_{dmin} = a(I_{d1} - I_{d1min})^2,$$

где I_{d1min} и U_{dmin} - минимальные значения тока и напряжения дуги данной длины, при которых начинается возрастание ВАХ; a - коэффициент, характеризующий наклон характеристик к горизонтальной оси (B/A^2).

Для дуг длиной 3,5 и 8 мм получено, соответственно:

$$a = 12,0 \cdot 10^{-6}; 19,5 \cdot 10^{-6} \text{ и } 31,3 \cdot 10^{-6} \text{ В/А}^2;$$

$$I_{d1min} = 480, 360 \text{ и } 240 \text{ А; } U_{dmin} = 30, 34 \text{ и } 38 \text{ В.}$$

На основании изучения зависимости параметров уравнения от длины дуги L_d составлено обобщенное уравнение ВАХ:

$$U_d = 4 \cdot 10^3 L_d (I_{d1} + 48 \cdot 10^3 L_d - 624)^2 + 1,6 \cdot 10^3 L_d + 25,2.$$

Анализ ВАХ показывает, что снижение напряжения в параллельных дугах происходит в соответствии с уменьшением тока в каждой

из них. Полученное семейство ВАХ позволяет выбрать оптимальный режим плавления ленты, исключая дуговой процесс и применить источник питания с необходимой внешней ВАХ.

Путем известного приема экстраполяции длины дуги до нулевого значения, определения суммарного анодного и катодного падения напряжений дуги и вычитания из этой суммы последнего определили анодное падение напряжения для ленты сечением $28 \times 0,7$ мм (~ 9 В) и проволоки диаметром 5 мм (~ 6 В). Отсюда следует, что количество энергии, выделяющейся на аноде ленточного электрода примерно в 1,5 больше, чем проволочного, и является одной из основных причин более высокой производительности плавления первого из них.

Для оценки плотности тока в анодном пятне измеряли его протяженность вдоль торца, используя усовершенствованную методику секционированного анода, собранного из трех лент сечением $15 \times 0,8$ или $15 \times 0,2$ мм. Сварочная дуга перемещалась по торцу с минимальной скоростью, при которой не происходило образования капли на ленте и не искажалась прямоугольная форма пятна. В отличие от существующих методик, осциллографом фиксировали не время перехода пятна с одной секции на другую, а время прохождения пятном определенного отрезка пути. Это дало возможность исключить в экспериментах процесс распада пятна при переходе через зазор между секциями.

Установлено, что на торце ленточного электрода имеет место сжатие анодного пятна и столба дуги, в результате которого локальная плотность тока в ленте $15 \times 0,2$ мм увеличивается от 440 до 770 А/мм², а в ленте $15 \times 0,8$ мм — от 360 до 440 А/мм² при повышении сварочного тока от 400 до 800 А и напряжении дуги 32–34 В. Плотность тока возрастает при уменьшении толщины ленты и общего тока. Этим объясняется повышенное анодное падение напряжения и возрастающие вольт-амперные характеристики дуги на ленточном электроде.

Глава 3 посвящена исследованию факторов, оказывающих влияние на устойчивость и производительность дугового процесса плавления ленты в разделке. Применены ленты сечением $28 \times 0,7$ и $15 \times 0,8$ мм, флюс АН-348А.

При изучении влияния шлаковой среды на устойчивость горения дуги и нагрев вылета были использованы методики, разработанные Л.К. Лещинским и А.Д. Размышляевым, с помощью которых опреде-

ляли величину тока $I_{ш}$, протекающего через шлак. Показано, что в процессе автоматической сварки под флюсом доля тока, протекающего через шлак, увеличивается при замене проволочного электрода ленточным (~ в 2,5 - 3 раза), что объясняется большей площадью поверхности ленты; при переходе от наплавки на гладкие пластины к сварке соединений со скосом кромок; при уменьшении угла разделки и скорости сварки, повышении общего сварочного тока и напряжения дуги.

Утечка сварочного тока через шлак $I_{ш}$, достигающая 45% общей его величины $I_{св}$, при сварке под флюсом ленточными электродами на обычных режимах не может служить достаточной причиной погасания дуги, так как оставшаяся часть дугового тока I_d достаточна для поддержания нормального дугового разряда (при $I_{св} = 800$ А, $I_d = 440$ А).

Расчеты показали, что при $I_{св} = 800-850$ А $T_{ср} = 138$ К, $T_{св} = 262$ К, т.е. в равных условиях вылет ленточного электрода сечением $28 \times 0,7$ мм нагревается почти в 2 раза больше. Интенсивность нагрева вылета повышается с уменьшением ширины и толщины ленты, а также с увеличением шлакового тока и времени нагрева. Абсолютные значения температур показывают, что одного нагрева вылета шлаком недостаточно для погасания дуги и перехода к электрошлаковому плавлению ленты.

Важным фактором повышения производительности плавления электрода является нагрев вылета проходящим током. Для сравнительной оценки температуры вылетов проволочного и ленточного электродов пользовались методикой, примененной Размышляевым А.Д.

Приращение средней температуры вылетов вследствие прохождения по ним сварочного тока оставило: для проволоки $\Delta T_{ср} = 760$ К, для ленты $\Delta T_{св} = 782-1285$ К при переходе от прямоугольного вылета к заостренному под углом 30° .

Таким образом, показано, что при сварке соединений с разделкой кромок температуры вылета дополнительно повышается вследствие заостренной формы торца. Для ленты сечением $28 \times 0,7$ мм повышение температуры оставляет 26-64% и 29-69% по сравнению, соответственно, с вылетом прямоугольной формы и проволокой диаметром 5 мм.

Возможность возникновения электрошлакового процесса в результате совместного нагрева ленточного электрода проходящим током и шлаком оценивали путем сравнения суммарной температуры вы-

лета с температурой плавления электродного металла (для стали 08кп $T_m = 1795$ K). Для прямоугольного вылета и стандартных разделок с углом раскрытия 60° (со скосом одной и двух кромок) соответственно получили температуры 1337, 1595 и 1673 K.

Следовательно, недогрев до температуры плавления составляет, соответственно 458, 200 и 122 K. Это говорит о том, что нагрева ленточного электрода сечением $28 \times 0,7$ мм шлаком и проходящим током недостаточно для протекания электрошлакового процесса и посасания дуги в данных условиях. Температура острого вылета может значительно превышать среднюю его температуру, поэтому в корне разделки не исключено электрошлаковое плавление ленты.

Для определения других факторов нагрева вылета проводили исследования механизма формирования и переноса капель. С помощью скоростной киносъемки открытой дуги установлено, что капли электродного металла в процессе формирования натекают на ленту, охватывая её с двух сторон. В результате этого уменьшается толщина жидкой прослойки между активным пятном дуги и не расплавленной кромкой торца и тем самым улучшаются условия теплопередачи от дуги к ленточному электроду. Кроме того, происходит интенсивная передача тепла от перегретой капли к боковой поверхности ленты как в момент её формирования, т.е. когда на ней горит дуга, так и особенно во время остывания капли, когда дуга находится на других участках торца.

Дополнительное приращение температуры исследованных форм вылетов, полученное расчетным путем, составляет 125–150 K, в результате чего суммарная температура вылета ленточного электрода $28 \times 0,7$ мм на 25–33% выше, чем проволоочного диаметром 5 мм в идентичных условиях и может достигать температуры плавления.

В главе 4 проведены исследования формирования сварных швов при сварке ленточными электродами. Новый подход к этой проблеме заключался в учете особенностей перемещения дуги по ленте, которые, в зависимости ориентировки ленты и режимов сварки, приводят к различным схемам нагрева основного металла. Эксперименты проводили с лентой сечением $20 \times 0,7$ мм при сварке на постоянном токе обратной полярности под флюсом АН-348А в широком диапазоне режимов: ток 500–1100 А, напряжение дуги 32–38 В, скорость сварки 8–60 мм/с, угол поворота ленты 0–90.

При продольном положении ленточного электрода неравномерный нагрев и расплавление изделия образуется вследствие того, что по

отношению к направлению сварки дуга движется то в попутном, то во встречном направлении. Для получения равномерного нагрева металла вдоль шва необходимо, чтобы начало каждого нового цикла движения дуги в попутном направлении совпадало на поверхности изделия с началом движения дуги во встречном направлении. Соблюдение данного условия возможно при нечетном количестве нагревов одной точки, т.е. кратность нагревов должна быть не менее трех. Получено аналитическое выражение для скоростей сварки, обеспечивающих равномерный нагрев в зависимости от ширины ленты и частоты перемещения дуги. Наплавка валиков показала, что при токе 800 А, напряжении дуги 36–38 В предельная бездефектная скорость сварки равна 33 мм/с и составляет около 60% расчетной величины, что вызвано более сложной реальной закономерностью движения дуги и переносом капель электродного металла. Некачественные участки шва состоят из наплывов, образующихся во время движения дуги навстречу ленте, и узких перемычек, возникших в момент движения дуги в попутном направлении.

При поперечном положении ленты нарушение формирования боковых участков шва на повышенных скоростях сварки также вызывается неравномерным нагревом металла. При том же токе и напряжении расчетный равномерный трехкратный нагрев обеспечивается скоростью сварки 12,6 мм/с, что примерно в 1,5 раза выше практической скорости (8,3 мм/с), сохраняющей качественное формирование шва. На основе разработанных Н.Н. Рыкалиным положений произведен расчет глубины проплавления боковых участков шва в зависимости от кратности нагрева. Показано, что если в исследованном диапазоне режимов кратность нагрева более пяти, то неравномерный нагрев практически не сказывается на неравномерности провара.

Нагрев металла при промежуточной ориентировке ленты подчиняется тем же закономерностям. Показано, что дефекты в первую очередь и преимущественно образуются после задней по ходу сварки кромки ленты, что является следствием не только неравномерного нагрева, но также наличием отличающихся по мощности локальных потоков жидкого металла вдоль и поперек шва. Для улучшения качества формирования шва и повышения скорости сварки предложена и испытана оптимальная форма профиля поперечного сечения ленты, состоящая из прямолинейного участка в средней части и отогнутых под углом не более 45° боковыми кромками, длина которых должна быть не менее ширины анодного пятна дуги на ленте. Это позволило повы-

сдать предельную бездефектную скорость сварки в 1,5 раза по сравнению с поперечным положением ленты.

Таким образом, для исключения нарушений формирования боковых участков шва, вызванных неравномерным нагревом металла, необходимо обеспечить оптимальное сочетание режима сварки с частотой перемещения дуги и профилем ленты.

В главе 5 разработана индивидуальная конструкция приставки, отличительной особенностью которой является наличие собственного корректировочного механизма, позволяющего производить коррекцию торца ленты поперек шва непосредственно в процессе сварки при любом угле поворота ленты относительно своей продольной оси, а также быстро переходить от сварки плоскими лентами к профилированным или к обычной сварочной проволоке.

Проведен анализ различных технологических вариантов сварки корня шва в стыковых соединениях со скосом одной кромки без притупления и с зазором 0-4 мм, который показал, что наиболее эффективным и высококачественным способом является автоматическая сварка под флюсом узким профилированным ленточным электродом трапецевидного типа сечением 20x0,7 мм, который обеспечивает высокое качество формирования корня шва при переменном зазоре от 0 до 4 мм. Данный способ может быть рекомендован для сварки деталей со скосом кромок, выполненным кислородной резкой.

Установлено, что образование дефектов (неоплавлений отдельных валиков, шлаковых включений, подрезов) происходит преимущественно со стороны нескошенной кромки и вызвано высокой скоростью сварки (свыше 7 мм/с) и увеличением или уменьшением оптимального расстояния от ленточного электрода до указанной кромки.

Благодаря благоприятной форме провара, обеспечиваемой профилированным ленточным электродом трапецевидной формы, применение последнего при автоматической сварке под флюсом многослойных швов до предварительно заваренному корню шва позволяет уменьшить минимальную высоту корневого шва до 10 мм по сравнению с 20 мм, необходимой в случае сварки аналогичных соединений проволочным электродом. Это способствует повышению производительности сварки указанных швов.

Выполнено сравнение различных приемов автоматической сварки под флюсом профилированным ленточным электродом многослойных швов и показано, что удовлетворительное качество сварного шва достигается при сварке лентой сечением 20x1 мм на режиме: ток 800-850 А, напряжение дуги 36-38 В, полярность обратная, скорость

сварки первого слоя 4 мм/с, последующих слоев 3 мм/с. В случае применения ленты сечением 20х0,7 мм во избежание электрошлакового процесса сварочный ток должен быть не более 700 А или скорость сварки не менее 5,5 мм/с при прочих равных условиях.

Проведены стандартные испытания на статическое (кратковременное) растяжение образцов, расположенных поперек оси шва и включающих все зоны сварного соединения, а также на ударный изгиб образцов с надрезом по оси шва и в зоне сплавления. Результаты показали, что временное сопротивление, ударная вязкость, относительное удлинение и сужение металла шва, выполненного лентой из стали 08кп ГОСТ 1050-74 находятся на уровне аналогичных параметров для стали ВСтЗсп и металла шва, наплавленного оварочной проволокой Св-08А под тем же флюсом.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Плавящиеся электроды в форме ленты обеспечивают более высокую производительность наплавки по сравнению с проволочными при одинаковых затратах электрической энергии. Использование указанного преимущества и применение данных электродов для автоматической сварки под флюсом многослойных швов возможно при соблюдении ряда условий, основными из которых являются обеспечение устойчивости дугового процесса плавления ленты, исключение параллельного горения двух и более дуг, формирование оптимального профиля поперечного сечения ленты.

2. Переход от круглой к ленточной форме электрода с идентичными площадями поперечных сечений и прочих равных условиях вызывает изменение вольт-амперной характеристики дуги с падающей на возрастающую и является следствием сжатия дуги по толщине ленты и увеличения плотности тока в анодном пятне. Это приводит к повышению анодного падения напряжения и увеличению энергии, выделяющейся на торце ленты, в результате чего производительность плавления ленточного электрода повышается по сравнению с проволочным.

3. В результате математической обработки экспериментальных данных получены уравнения вольт-амперных характеристик семейства оварочных дуг длиной 3-8 мм на ленте толщиной 0,7 мм, позволяющие определить минимальные значения токов и напряжений, выше которых оварочные дуги имеют возрастающую характеристику. Это дает возможность выбрать оптимальную внешнюю вольт-амперную характеристику источника питания, наиболее соответствующую режиму горения дуги.

4. Увеличение протяженности плавящегося торца при постоянной ширине ленты, снижение тока или напряжения дуги приводит к образованию дополнительной дуги на торце ленты. Во время горения двух дуг величина тока в сварочной цепи не изменяется, но снижается падение напряжения в каждой из дуг в соответствии с их вольт-амперными характеристиками, в результате чего уменьшается количество энергии, выделяющейся на торце ленты, и снижается скорость ее плавления. В исследованном диапазоне режимов и ширины торца установлены предельные значения токов, при которых исключается появление второй дуги.

5. Одним из факторов, способствующих повышению температуры вылета ленточного электрода на 150 К по сравнению с проволочным, является нагрев вылета каплями электродного металла, которые в процессе формирования натекают с торца на ленту, охватывая ее с боковых сторон, и охлаждаются в моменты горения дуги на других участках торца. Указанное дополнительное повышение температуры может вызвать нарушение устойчивости дугового и появление электрошлакового процесса плавления ленты при автоматической сварке под флюсом.

6. Экспериментально-расчетным путем показано более эффективное использование энергии дуги на торце ленточного электрода по сравнению с проволочным, что вызвано уменьшением толщины жидкой прослойки между активным пятном дуги и торцом электрода вследствие натекания капель на ленту.

7. На основе экспериментального изучения закономерностей распределения падения напряжения по ширине тонкой пластины при сплошном токоподводе и локальном токосъеме разработана методика регистрации положения дуги по ширине торца ленточного электрода, основанная на измерении разности падения напряжения на боковых краях ленты. Методика позволяет исключить ошибки, вызванные случайными возмущениями сварочного тока.

8. Установлено, что нарушение формирования боковых кромок шва является следствием неравномерного нагрева и расплавления основного металла, вызванного перемещением дуги по ленте. Для улучшения формирования шва необходимо обе боковые кромки ленты располагать углом вперед, что можно осуществить путем профилирования поперечного сечения ленты в виде прямолинейного участка в средней части и отогнутых под углом не более 45° боковых сторон, ширина которых должна быть не менее ширины активного пятна дуги.

9. Разработана конструкция сварочной приставки и технология автоматической сварки под флюсом многослойных швов, в результате чего достигнуто повышение производительности процесса в среднем на 30% при качественном формировании швов. Оборудование и технология внедрены при сварке крупногабаритных зубчатых колес и получен экономический эффект в размере 28 тысяч рублей в год.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Орлов А.С., Кучер А.Т., Тесленко И.Н. Подающий механизм для сварки профилированным ленточным электродом. - В кн.: Прогрессивная технология в сварочном производстве. Воронеж: Воронежский политехнический институт, 1975, с.126-129.

2. Автоматическая сварка под флюсом ленточными электродами. /А.С.Орлов, А.Т.Кучер, В.М.Семькин и др. - Пути ускорения технического прогресса и повышения эффективности сварочного производства в республике: Тез.докл.межотрасл.респ.научн.-техн.конф.-Вильнюс, 1977, ч.2, с.171-173.

3.Технология сварки ленточным электродом соединений с односторонним скосом кромок /А.С.Орлов, А.Т.Кучер, А.М.Боженков и др.-Сварочное производство, 1977, № 8, с13-14.

4. Автоматическая сварка под флюсом профилированным ленточным электродом /А.С.Орлов, А.Т.Кучер, С.Г.Шустер и др.- Сварочное производство, 1978, № 10, с.13-16.

5.Приставка для автоматической сварки ленточными электродами /А.С.Орлов, А.Т.Кучер, В.Н.Семькин и др.- Сварочное производство, 1978, № 11, с.51-52.

6. Орлов А.С., Кучер А.Т. Технологические особенности сварки под флюсом ленточными электродами. - Пути повышения эффективности, качества и надежности в сварочном производстве: Тез.докл.Зон.науч.-техн.конф. - Красноярск, 1979, с.32-34.

7. Чернышов Г.Г., Орлов А.С., Кучер А.Т. Определение плотности тока в анодном пятне сварочной дуги на ленточном электроде.- Теплофизика технологических процессов: Тез.докл.У Всесоюз.науч.-техн.конф.-Волгоград, 1980, с.157.

8. Некоторые особенности плавления ленточного электрода в разделке /Г.Г.Чернышов, А.С.Орлов, А.Т.Кучер и др.- Тез.докладов конференции, посвященной 50-летию подготовки инженеров-сварщиков,- Владивосток, 1980, с.20-22.

9. Разработка технологии сварки крупногабаритных зубчатых колес /А.Т.Кучер, В.Н.Семькин, А.И.Жихарев и др.- Экономия

металла в машиностроении методами сварки: Тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. конф. Воронеж, 1983, с.34-38.

Ю. А. с. 707710 (СССР). Способ электродуговой многопроходной сварки /А.С.Орлов, А.Т.Кучер, С.Г.Шустер и др. - Опубликовано в Б.И. 1980, № 1.

И. А. с. 725834 (СССР). Способ электрической дуговой сварки /А.С.Орлов, А.Т.Кучер, В.Н.Семыкин и др. - Опубликовано в Б.И., 1980, № 13.

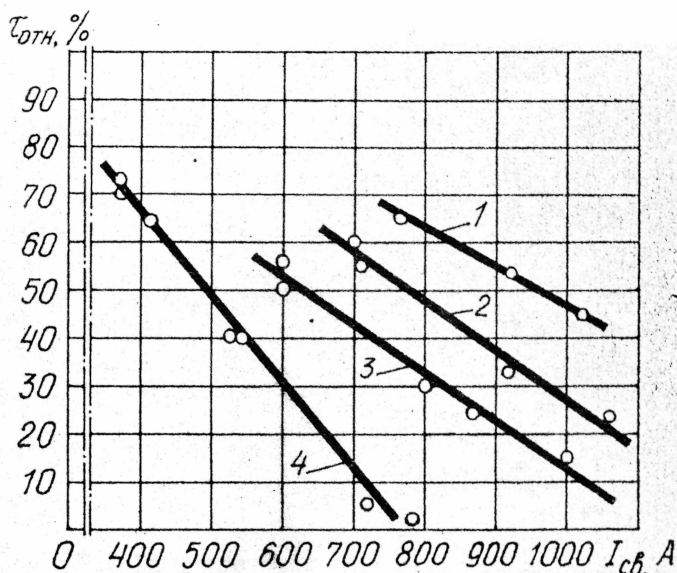


Рис.1. Относительная длительность одновременного горения двух дуг ($\tau_{отн}$) на торце ленточного электрода сечением 28 x 0,7 мм: 1,2,3,4 - длины дуг, соответственно, равны 3; 3,5; 5 и 8 мм при постоянной ширине торца 38 мм

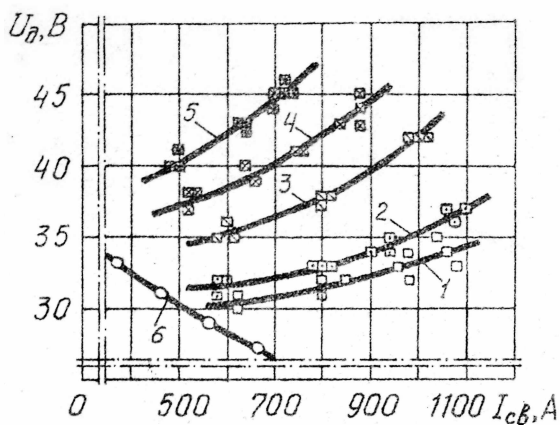


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики сварочной дуги:
 1,2,3,4,5 - ленточный электрод сечением 28 x 0,7 мм (длина дуги, соответственно, 3; 3,5; 5; 6,5 и 8 мм); 6 - проволочный электрод ϕ 2,4 мм (длина дуги 5 мм)

Жу

