

## ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ СВАРКА КРУПНОГАБАРИТНОЙ СТАНИНЫ ПРЕССА

К. П. ШАПОВАЛОВ<sup>1</sup>, В. А. БЕЛИНСКИЙ<sup>1</sup>, А. Е. МЕРЗЛЯКОВ<sup>1</sup>, С. Н. КОСИНОВ<sup>1</sup>,  
К. А. ЮЩЕНКО<sup>2</sup>, И. И. ЛЫЧКО<sup>2</sup>, С. М. КОЗУЛИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод». 847305, г. Краматорск, ул. Орджоникидзе, 5.

E-mail: ztm@nkmz.donetsk.ua

<sup>2</sup>ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Описан первый в мировой практике опыт производства сварно-кованой конструкции нижней станины ковочного пресса усилием 70/90 МН с толщиной свариваемых стыков в пределах 3000...3800 мм. Общая масса конструкции составляла 160...200 т. При изготовлении была применена технология электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком. Роль кондуктора выполняла замкнутая коробчатая форма самих свариваемых заготовок с ребрами жесткости. Сварная заготовка подвергалась нормализации с отпуском и ультразвуковому контролю. Накопленный опыт выполнения швов сверхбольших сечений может быть использован при разработке методов расчета ожидаемых деформаций и технических приемов управления ими. Библиогр. 8, рис. 4.

*Ключевые слова:* электрошлаковая сварка, кузнечно-прессовое оборудование, сварно-кованая конструкция, нижняя станина пресса, сверхбольшие сечения, особенность производства

На протяжении более 60 лет ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод» выпускает различное кузнечно-прессовое оборудование, у которого практически все несущие элементы выполнены в сварно-литом или сварно-кованом вариантах с применением электрошлаковой сварки (ЭШС). За это время было изготовлено и поставлено более 300 единиц мощных кузнечно-прессовых машин, которые сегодня успешно эксплуатируются в более чем 20 странах мира. В настоящее время производство ковочных гидравлических прессов усилием более 30 МН является важным перспективным направлением тяжелого машиностроения.

Одним из базовых элементов таких прессов является нижняя станина, средняя балка (рис. 1, а) которой изготавливается из стали 30Л в сварно-литом исполнении (общая масса 160...200 т, толщина свариваемых стыков находится в пределах  $S = 3000...3800$  мм). Так, например, средняя балка нижней станины ковочного пресса усилием 70/90 МН представляет собой объемную конструкцию коробчатого типа массой 200 т, состоящую из двух литых заготовок, соединенных электрошлаковой сваркой плавящимся мундштуком (ЭШС ПМ). Сечение свариваемого стыка ( $S \times H$ ) имеет размеры  $3820 \times 3130$  мм (рис. 1, б).

Следует отметить, что до сих пор в мировой практике сварочного производства примеры сварки стальных заготовок с таким сечением шва не были известны. Кроме того, конструкция средней балки отличается от обычно встречающихся массивных заготовок с большой толщиной шва тем, что толщина стенки свариваемых кромок ( $\delta$ ) со-

ставляет всего 120 мм (рис. 1, б). Для ЭШС ПМ

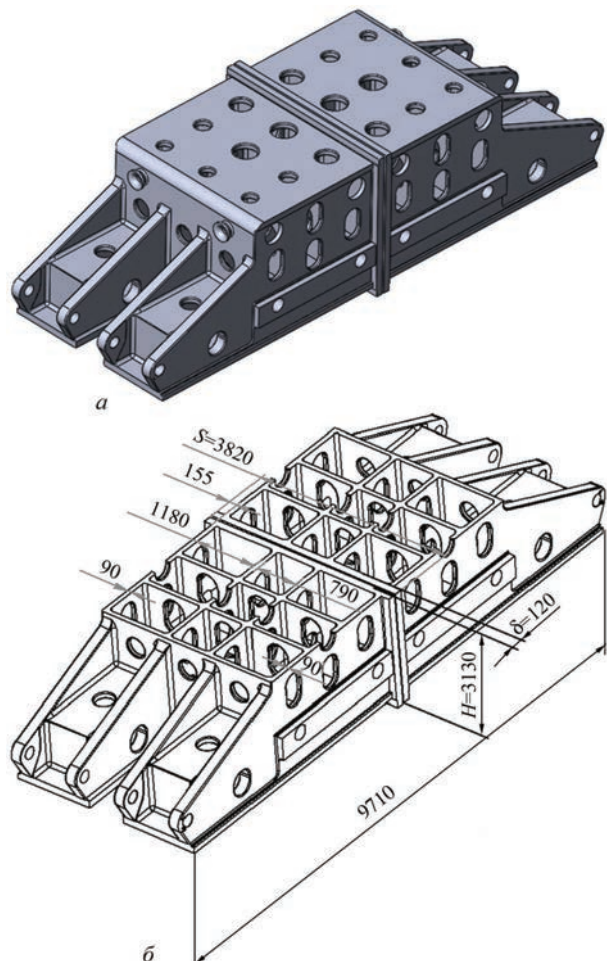


Рис. 1. Конструкция средней части станины ковочного гидравлического пресса усилием 70/90 МН: а — общий вид; б — структурная схема

жестких заготовок (ширина свариваемых элементов  $\delta$  не меньше толщины шва  $S$ ), величину и характер ожидаемых перемещений свариваемых кромок по длине шва  $H$  и изменение величины свариваемого зазора над шлаковой ванной можно прогнозировать с удовлетворительной степенью точности [1, 2]. Условия ЭШС ПМ гибких пластин, у которых отношение толщины шва к ширине заготовки больше единицы ( $S/\delta > 1$ ) практически не исследованы. Поэтому довольно сложно определять условия закрепления (сборки) свариваемых деталей, обеспечивающие в допустимых пределах ожидаемые величину и характер сварочных деформаций, а также величину зазора на протяжении всего сварочного процесса. Анализ температурно-временных условий распространения тепловой энергии и формирования шва при ЭШС металла большой толщины [3, 4] показывает, что при сварке относительно тонких пластин нельзя заранее определить характер перемещения свариваемых кромок по ходу выполнения шва. Здесь возможно или чрезмерное уменьшение зазора, которое может вызвать короткое замыкание между кромками и плавящимися мундштуками, или наоборот — увеличение зазора до величины, при которой возможен выход кромок за пределы формирующих устройств. И то, и другое недопустимо, так как приведет к прекращению сварочного процесса. Неизвестны также характер влияния параметров режима и способы внешнего воздействия на свариваемые кромки, которые могли бы

обеспечить величину зазора и геометрические параметры гибких пластин в допустимых пределах. Для ограничения перемещения свариваемых кромок при дуговой сварке часто используют всякого рода приспособления (кондукторы, скобы и т. п.). Из-за больших габаритов заготовок, значительных масс и объемов одновременно кристаллизующегося металла шва, а также малой ширины свариваемых кромок, для случая ЭШС использовать эти приемы практически невозможно.

При ЭШС ПМ средней балки нижней станины роль кондуктора выполняла замкнутая коробчатая форма самих свариваемых заготовок, в которых перпендикулярно расположенные к плоскости свариваемых кромок ребра жесткости (рис. 1, б) будут препятствовать изменению величины зазора по высоте стыка выше допустимых пределов. Относительно формы зазора по толщине шва в промежутках между ребрами жесткости, на уровне максимального проплавления, можно ожидать некоторого выпучивания свариваемых кромок. Однако величина их должна быть незначительной по причине относительно медленного нагревания металла кромок на всю толщину до  $500...600\text{ }^\circ\text{C}$  (термопластическое состояние) и воздействия кристаллизующегося шва, движущегося за зоной максимального нагрева кромок на расстоянии  $15...30\text{ мм}$  со скоростью сварки.

Обычно применяемая на заводе технология и техника сборки массивных заготовок больших габаритов и толщины свариваемых кромок под

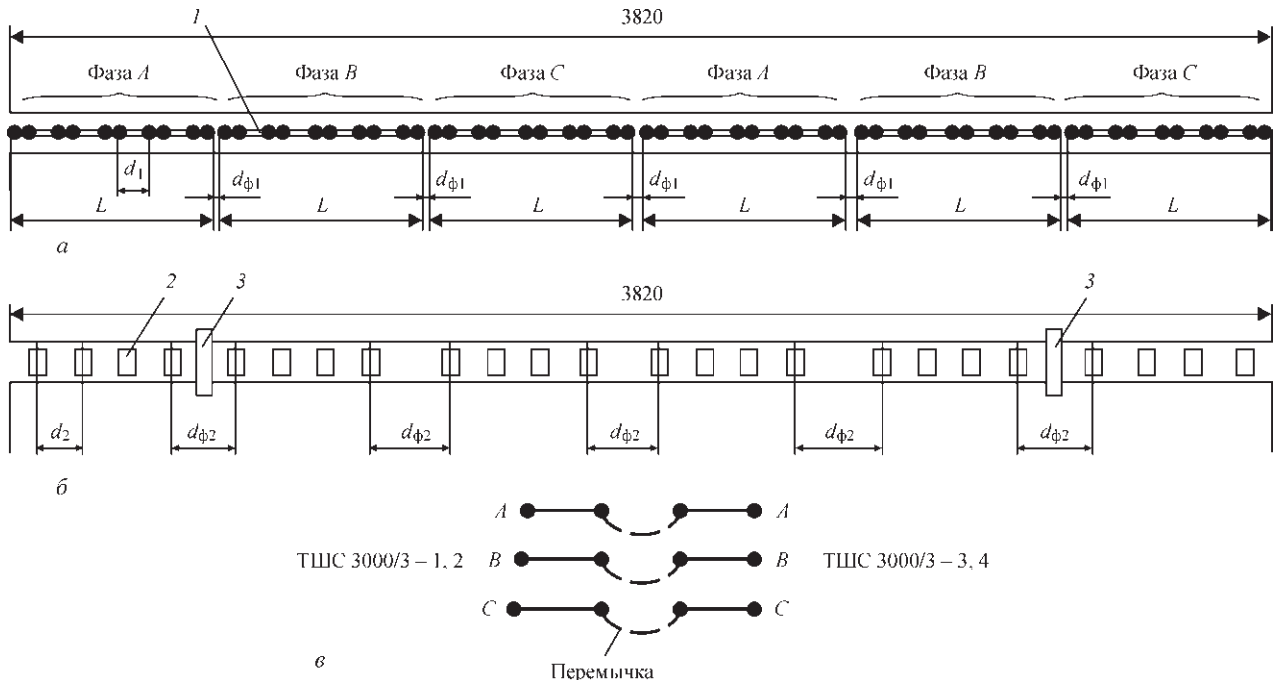


Рис. 2. Схемы установки пластин мундштуков в зазоре (а), скоб для установки плавящихся мундштуков (б) и соединения фаз для четырех источников питания (в); (1 — секция плавящегося мундштука;  $L$  — ширина одной секции (фазы) плавящегося мундштука;  $d_1$  — расстояние между осями направляющих каналов;  $d_{\phi 1}$  — расстояние (межфазное) между плавящимися мундштуками; 2 — скобы для крепления секций; 3 — скоба-перемычка;  $d_2$  — расстояние между скобами для крепления секций;  $d_{\phi 2}$  — межфазное расстояние для скоб)



Рис. 3. ЭШС средней части станины (а) и разогрев выводных планок за несколько минут до окончания процесса сварки (б): 1 — заготовка; 2, 3 — разогрев обратной стороны кромок в местах, соответствующих группам мундштуков и межфазным промежуткам; 4 — плавящиеся мундштуки

ЭШС ПМ включает следующие операции: сборку свариваемых заготовок между собой с определенным сборочным зазором, который фиксируется сборочными планками [5]; выставление в ямный стенд установки для ЭШС плавящимся мундштуком собранной под сварку заготовки [6]; наезд установки на собранную деталь; выдвижение в крайнее положение тележки со сварочными аппаратами; заведение в зазор один за другим плавящихся мундштуков, которые крепятся в струбцинах аппаратов АШ-110. Далее выполняются подготовительные работы: центрирование мундштуков в зазоре, прогонка проволоки в трубках мундштуков и т.п.

Из-за больших габаритов конструкции средней балки нижней станины технология ее сборки была отличной от стандартной. Сначала в ямный стенд установки выставляли одну половину балки. К начальным планкам заготовки приваривают скобы и на них укладывают пластину из стального проката — «дно кармана». Затем на выставленную заготовку наезжают установкой и в струбцины сварочных аппаратов АШ-110 закреп-

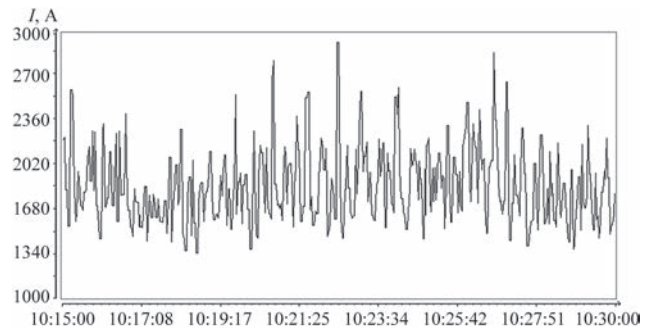


Рис. 4. Осциллограмма сварочного тока (длительность процесса 15 мин, фаза А, трансформаторы № 1, № 2 (рис. 2, в))

пляют плавящиеся мундштуки: 24 пластины плавящихся мундштуков, разбитых на 6 групп по 4 пластины в каждой (рис. 2). После установки всех мундштуков их положение относительно заготовки фиксировали приварными скобами для крепления секций (рис. 2, б, поз. 2), а затем пластины высвобождают из струбцин сварочных аппаратов. Для выставления второй половины средней балки нижней станины установку перемещают в крайнее положение. Формируют сборочный зазор: 36 мм внизу и 40 мм сверху стыка. После сборки свариваемых частей с заданным зазором к начальным планкам собранной детали домкратами плотно поджимают «дно кармана». Далее наезжают установкой на собранную заготовку и плавящиеся мундштуки снова закрепляют в струбцины сварочных аппаратов, а фиксирующие скобы срезают.

Шов с двух сторон формировали ползунами (рис. 3, а). Сборочный зазор на уровне выводных планок фиксируют двумя скобами — перемычками (рис. 2, б, поз. 3), приваренными к выводным планкам электродуговой сваркой. Скобы-перемычки размещают между первой и второй, а также между пятой и шестой группами мундштуков (рис. 2, б). Электрошлаковый процесс начат с «жидкого старта», во время сварки осуществляли мониторинг основных параметров режима сварки [7, 8] (рис. 4). Кроме того, по ходу сварки регулярно контролировали и поддерживали требуемую глубину шлаковой ванны с двух сторон шва, а также вели наблюдение за разогревом обратной стороны свариваемых кромок. Следует отметить, что температура нагрева обратной стороны кромок с момента выхода шва за пределы входного кармана (в промежутках между ребрами) составляла 550...650 °С и только при подходе шлаковой ванны на расстояние 250...300 мм до выходного кармана возросла до 900...1100 °С (рис. 3, б).

Незначительное увеличение зазора между кромками над зеркалом шлаковой ванны было зафиксировано на уровне 1200 мм шва — 42...43 мм. Увеличение зазора стало более заметным после сварки половины шва (произошел отрыв обеих скоб — перемычек, рис. 2, б, поз. 3)

– зазор на выводных планках составил 50 мм. При подходе шлаковой ванны на уровень 2500 мм от начала раскрытие зазора у ползунов достигло величины 55 мм и больше не менялось. Замыканий между мундштуками и кромками на протяжении сварки не зафиксировано. Весь процесс сварки осуществлен без нарушения заданных параметров режима и приемов техники выполнения шва. Затем сварную заготовку средней балки подвергли нормализации с отпуском и после УЗК отправили на дальнейшую механическую обработку.

Таким образом, впервые в мировой практике сварочного производства электрошлаковой сваркой плавящимся мундштуком выполнен шов сверхбольшого сечения размером  $11,96 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$  (толщина стыка  $S = 3820 \text{ мм}$  при ширине свариваемых кромок  $\delta = 120 \text{ мм}$ ).

Опыт выполнения швов сверхбольших сечений, полученных электрошлаковой сваркой плавящимся мундштуком для соединения гибких пластин, необходимо использовать при разработке научно обоснованных методов расчета ожидаемых деформаций и технических приемов управления ими.

За последние годы предприятием было изготовлено и поставлено для Южной Кореи, Китая,

Японии и Индии шесть гидравлических ковочных прессов мощностью 60...100 МН, базовые несущие элементы которых выполнены с применением описанных выше технологий ЭШС ПМ

1. Электрошлаковая сварка и наплавка; под ред. Б. Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1980. – 511 с.
2. Сушук-Слюсаренко И. И. Метод получения точных размеров изделий при электрошлаковой сварке / И. И. Сушук-Слюсаренко. – К.: УкрНИИТИ, 1969. – 44 с.
3. Винокуров В. А. Сварочные деформации и напряжения / В. А. Винокуров. – М.: Машиностроение, 1968. – 236 с.
4. Махненко В. И. Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций / В. И. Махненко. – К.: Наукова думка, 1976. – 320 с.
5. Сушук-Слюсаренко И. И. Техника выполнения электрошлаковой сварки / И. И. Сушук-Слюсаренко, И. И. Лычко. – К.: Наукова думка, 1974. – 90 с.
6. Новая установка для электрошлаковой сварки крупных элементов на АО «Ново-Краматорский машиностроительный завод» / В. А. Невидомский, С. Г. Красильников, А. Д. Панин [и др.] // Автоматическая сварка. – 2002. – № 2. – 50–53.
7. Способ изготовления крупногабаритных ковано-литых заготовок электрошлаковой сваркой / А. И. Волошин, К. П. Шаповалов, В. А. Белинский [и др.] // Автоматическая сварка. – 2012. – № 8. – С. 48–49.
8. Системы управления процессом и мониторинг режимов – важные факторы обеспечения качества при электрошлаковой сварке металла большой толщины / К. П. Шаповалов, С. Н. Литвиненко, С. Н. Косинов [и др.] // Автоматическая сварка. – 2013. – № 12. – С. 41–44.

Поступила в редакцию 03.03.2016

## **IV Международная научно-техническая конференция «СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ»**

4–7 октября 2016 г.

г. Краматорск

Донбасская государственная машиностроительная академия (ДГМА) проводит IV Международную научно-техническую конференцию «Сварка и родственные технологии: перспективы развития».

### НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

- ◆ Прогрессивные технологии сварки, наплавки, пайки, резки, нанесения покрытий и обработки поверхностей
- ◆ Математическое, физическое, имитационное моделирование, компьютерные и информационные технологии в сварке и родственных процессах
  - ◆ Теория процессов сварки и наплавки
  - ◆ Физико-химические процессы при сварке и родственных процессах
    - ◆ Материаловедение в сварке и родственных процессах
- ◆ Перспективные конструкционные, сварочные и наплавочные материалы
  - ◆ Механизация и автоматизация в сварке и родственных процессах
  - ◆ Оборудование и источники питания в сварке и родственных процессах
    - ◆ Ресурс и надежность сварных конструкций
- ◆ Техническая диагностика и контроль качества в сварке и родственных технологиях
  - ◆ Энерго- и ресурсосбережение в сварке и родственных технологиях
    - ◆ Экологические проблемы процессов сварки и наплавки
      - ◆ Нормативная база сварочного производства
      - ◆ Сварочные и родственные технологии в медицине
  - ◆ Нанотехнологии, наноматериалы в сварочных и родственных процессах
    - ◆ Нейросетевые технологии в сварочных и родственных процессах
- ◆ Подготовка и повышение квалификации кадров для сварочного производства и смежных областей
  - ◆ История развития сварки и родственных процессов

Контакты: E-mail: [sp@dgma.donetsk.ua](mailto:sp@dgma.donetsk.ua); [goldenmih@ukr.net](mailto:goldenmih@ukr.net); [www.dgma.donetsk.ua](http://www.dgma.donetsk.ua)