

УДК 621.791.763.2

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ТИПА «ПЛАСТИНА + ВТУЛКА», ПОЛУЧЕННЫХ КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКОЙ С АДАПТИВНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ МОЩНОСТИ

К. А. ЯКОВЛЕВ, Г. Ю. ЧАПЛЫГИН, А. О. СЕРГЕЙЧИК

Научный руководитель С. М. ФУРМАНОВ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Металлографические исследования соединений «пластина + втулка» производились над образцами, сваренными при следующих параметрах режима рельефной сварки с использованием конической формы рельефа на торце втулки с заступом: диаметр отверстия в пластине $D = 23$ мм, высота рельефа $h_p = 1,0$ мм, ток подогрева $I_{\text{под}} = 18 \dots 20$ кА, сварочный ток $I_{\text{св}} = 24 \dots 25$ кА, время подогрева $\tau_{\text{под}} = 0,227 \dots 0,282$ с, мощность при подогреве $P_{\text{под}} = 40 \dots 44$ кВт, время нарастания тока $\tau_n = 0,06$ с, время протекания максимального сварочного тока $\tau_{\text{св}} = 0,12 \dots 0,161$ с, мощность при сварке $P_{\text{св}} = 66 \dots 73$ кВт, затрачиваемая энергия нагрева зоны «электрод – электрод» $Q_{\text{ээ}} = 22 \dots 26,5$ кДж, усилие сжатия электродов $F_{\text{св}} = 5900$ кН, допуск осадки при подогреве $\Delta_{\text{под}} = 0,2h_p$, допуск осадки при сварке $\Delta_{\text{св}} = 0,7h_p$. На металлографию были взяты образцы № 42 и 47. Результаты представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

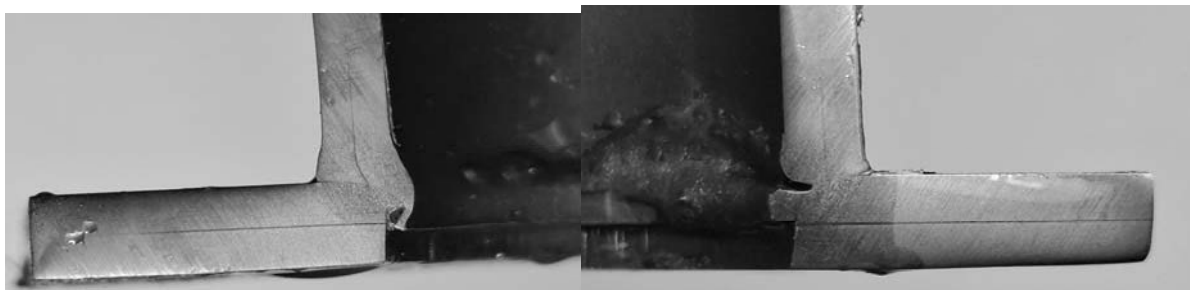


Рис. 1. Макроструктура шва, образец № 42

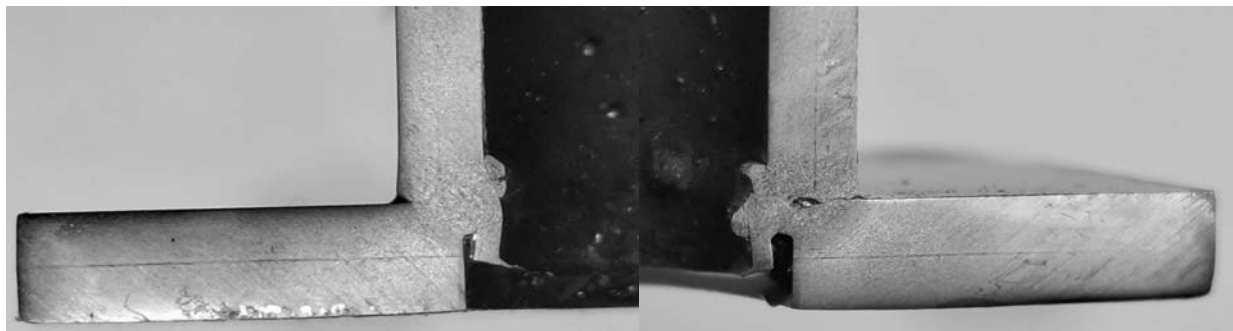


Рис. 2. Макроструктура шва, образец № 47

Сравнение с базовым технологическим процессом (уровень брака составляет 11 %...13 %) косвенно подтверждает эффективность адаптивного управле-

ния: снижение доли дефектных соединений до 0,5 % сопровождается стабильным выходом прочности на приемлемом уровне. Однако разброс значений остаётся значительным, что указывает на наличие дополнительных факторов, не компенсируемых алгоритмом регулирования мощности.

Основной причиной разброса, как показал последующий металлографический контроль, является несоосность консолей контактной сварочной машины. Даже незначительный перекося втулки относительно пластины приводит к асимметричному контакту рельефа и, как следствие, к неравномерному тепловыделению по периметру соединения. Адаптивная система, отслеживая суммарное перемещение подвижного электрода и переключая этапы циклограммы при достижении заданных порогов осадки, не способна различить равномерную осадку и осадку, вызванную перекосями. Поэтому на образцах с более выраженной несоосностью фиксируются минимальные значения прочности.

Металлографическое исследование образцов № 42 и 47 позволило уточнить характер дефектов. Образцы в общем случае демонстрируют более выраженные участки неполного сплавления (непровары) в зоне, удалённой от точки первичного контакта. При этом сами литые зоны плотные, без пор и трещин, что говорит о корректном выборе теплового режима. Непровары имеют вид тонкой застывшей прослойки – расплав не успевает объединиться в единое ядро из-за того, что заданный допуск осадки достигается раньше полного проплавления «затенённой» стороны. Образец № 47 является показательным: при минимальном перекося в данной конкретной сварке макроструктура показывает практически полное сплавление по всему периметру с незначительной ликвационной зоной, что подтверждает принципиальную возможность получения высококачественного соединения при соблюдении геометрической точности.

Сопоставление механических свойств с данными металлографии для разных режимов сварки позволяет установить следующую корреляцию. Образцы с прочностью выше 30 кН имеют симметричное литое ядро с долей проплавления не менее 80 % от толщины стенки втулки. Образцы с прочностью 20...28 кН характеризуются умеренной асимметрией, но без сквозных несплавов. Низкопрочные образцы (менее 16 кН) обладают зонами несплавления протяжённостью более 1/3 периметра или содержат оксидные включения в разрыве.

На основе проведённого анализа можно сделать несколько дополнительных выводов и рекомендаций для дальнейшего совершенствования процесса. Во-первых, адаптивное регулирование мощности подтвердило свою высокую эффективность для стабилизации теплового режима: даже при наличии геометрических погрешностей удаётся получить более 70 % образцов с прочностью выше заданного порога. Во-вторых, ключевым ограничением является механическая часть – несоосность консолей и электродов, которую адаптивный алгоритм не компенсирует. Для устранения этого недостатка достаточно использовать современное оборудование или делать установку на базе машин рельефной сварки, где более жесткие требования к геометрии деталей.