

УДК 621.791.763.2

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ С КОНТРОЛЕМ ПО ПЕРЕМЕЩЕНИЮ ПОДВИЖНОГО ЭЛЕКТРОДА СВАРОЧНОЙ МАШИНЫ

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

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

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Введение. В современном машиностроении широкое распространение получили неразъёмные резьбовые соединения, формируемые приваркой гаек к листовым деталям. Наиболее часто такая технологическая задача возникает при производстве кузовных элементов автомобилей, корпусов бытовой техники, а также разнообразных кронштейнов и несущих каркасов. Долгое время основным способом соединений оставалась механизированная дуговая сварка плавящимся электродом в защитном газе. Однако этот метод сопряжён с рядом технологических и организационных ограничений.

Главный недостаток дуговой сварки применительно к данной операции заключается в низкой производительности и значительной зависимости конечного результата от квалификации сварщика. Исполнитель вынужден предварительно фиксировать гайку и выполнять её прихватку, а затем обваривать по периметру, непрерывно отслеживая длину дуги и скорость сварки. В результате – большой разброс геометрических параметров швов, перегрев тонкостенного листа, его коробление и появление прожогов. Дополнительными проблемами служат необходимость последующей зачистки соединений от брызг расплавленного металла и засорение резьбы брызгами, требующее прогонки метчиком. С точки зрения условий труда процесс сопровождается выделением сварочного аэрозоля и ультрафиолетового излучения, что увеличивает нагрузку на вентиляционное оборудование и средства индивидуальной защиты. Всё это делает дуговую приварку гаек «узким местом» на участках массового и крупносерийного производства, ограничивая рост объёмов выпуска и стабильность качества.

Эффективной альтернативой является контактная рельефная сварка, при которой на опорном торце гайки предварительно формируются выступы-рельефы кольцевой или сегментной формы. Ток пропускается через зону контакта рельефа с листом, разогревает металл до пластического состояния, и под действием сжимающего усилия за доли секунды образуется прочное сварное соединение. Такой подход кардинально изменяет характер производства: время сварки одного узла сокращается с десятков секунд до десятых долей секунды, отпадает необходимость в присадочных материалах,

практически отсутствуют деформации, а резьба остаётся чистой. Процесс легко интегрируется в автоматические линии с использованием пневмогидравлических машин и питателей, обеспечивая ритмичный выпуск продукции.

Основная часть. Промышленным объектом настоящего исследования является боковина кабины карьерного самосвала МАЗ 6430 (деталь 5401011). Эта деталь представляет собой базовый несущий элемент остова, к которому предъявляются повышенные требования по стабильности геометрии и долговечности сварных соединений. Боковина изготавливается из холоднокатаного листового проката низкоуглеродистой стали марки 08Ю толщиной 1,2 мм методом холодной штамповки с последующей контактной сваркой усиливающих накладок и подобранных кронштейнов. На внутреннюю поверхность детали в строго регламентированных конструкторской документацией координатах привариваются гайки с метрической резьбой М6 и М8, предназначенные для монтажа элементов интерьера, обивки, дефлекторов системы отопления и кронштейнов стеклоподъёмников. Общее количество приварных гаек на одной боковине достигает 24 точек: 16 гаек М6 и 8 гаек М8. Материал гаек – сталь 20 по ГОСТ 1050, резьба нарезается до операции сварки, на опорном торце сформированы сегментные рельефы для контактной сварки, однако в текущем производственном цикле дуговой сварки они не используются.

Экспериментальные данные, полученные в ходе выполнения работы, структурированы по трём направлениям: осциллографирование параметров режимов сварки, металлографический анализ и механические испытания.

Осциллографирование процесса сварки, заключающееся в регистрации сварочного тока, напряжения на электродах и линейного перемещения верхней траверсы, позволило определить кинетику формирования соединения для каждого образца.

Анализ кривых тока показал, что его действующее значение оставалось стабильным от импульса к импульсу: максимальное отклонение от уставки не превысило 10 %. Форма полуволн симметрична, нарушений синхронизации тиристорного регулятора не зафиксировано. Длительность импульса выдерживалась с погрешностью не более одного полупериода сетевого напряжения.

Кривая напряжения на электродах демонстрирует характерный начальный всплеск, вызванный высоким переходным сопротивлением холодных рельефов, и последующее плавное снижение по мере разогрева и осадки. Сигнал датчика линейного перемещения ЛИР-17 чётко разделяется на три стадии: предварительное сжатие без заметного движения, быстрая осадка рельефов и выход на плато после завершения деформации рельефов. Сопоставление электрических и механической кривых подтверждает, что основное тепловыделение завершается до окончания осадки.

По осциллограммам рассчитано полное энерговыделение в каждое соединение. Средняя энергия для гаек М6 составила 7,9 кДж, для гаек М8 – 16,8 кДж.

Разброс внутри серий не превысил 24 %, что свидетельствует о стабильности контактных сопротивлений и качественной подготовке поверхности.

Макроструктурные исследования проведены на двух образцах каждого типоразмера. Макрошлифы представлены на рис. 1. Во всех случаях сформировалось сплошное литое ядро кольцевой формы, повторяющее геометрию рельефного выступа.

Глубина проплавления основного металла составила 0,3 мм для гаек М6 и 0,4 мм для гаек М8, что соответствует 30 % и 35 % от толщины листа 1,5 мм соответственно. Полученные значения укладываются в благоприятный диапазон, гарантирующий отсутствие прожогов при сохранении несущей способности пластины.

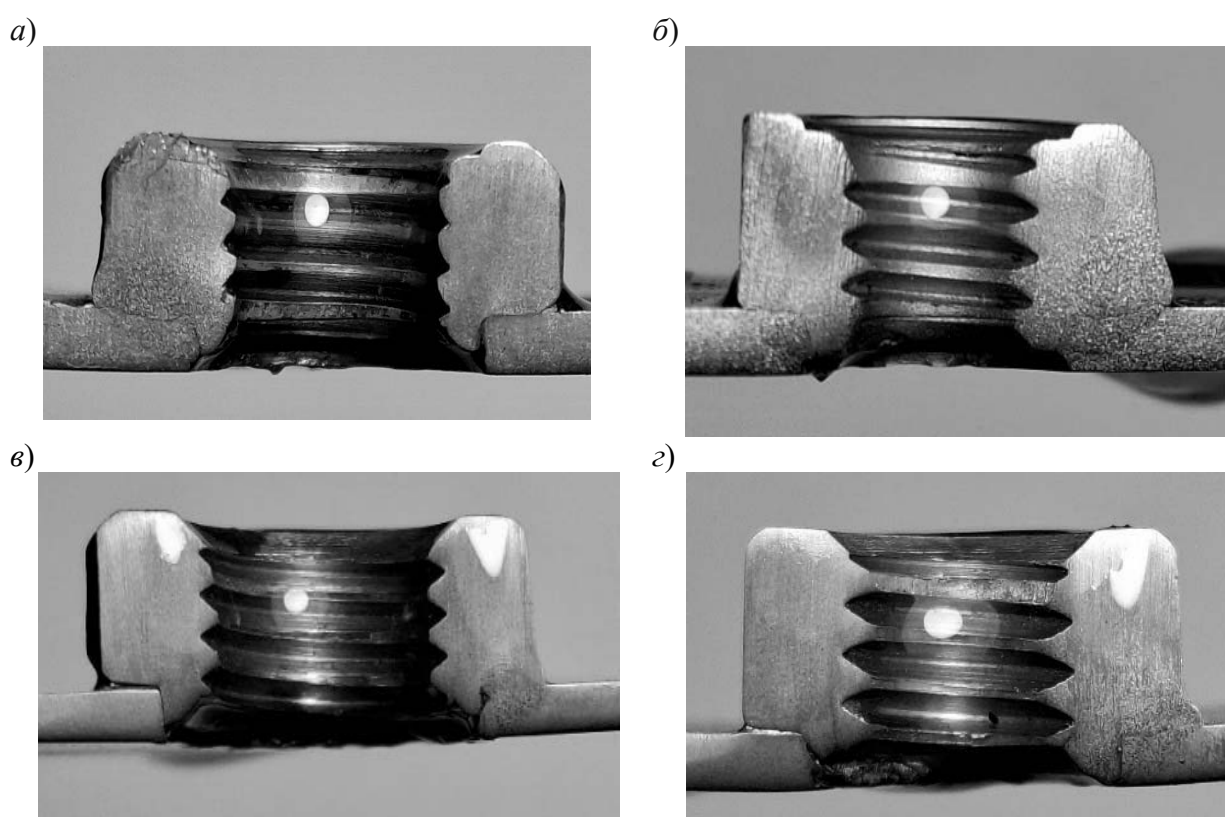


Рис. 1. Соединение «гайка + пластина»: *а* – образец 96 (гайка М6); *б* – образец 97 (гайка М6); *в* – образец 128 (гайка М8); *з* – образец 129 (гайка М8)

Металлографический контроль подтвердил корректность выбранных параметров. На макрошлифах образцов гайки М6 (ток – 12 кА) литое ядро имеет правильную округлую форму, глубина проплавления пластины составляет 60 %...70 % от толщины, поры и трещины отсутствуют. Для гайки М8 (ток – 14 кА) литое ядро несколько крупнее, доля проплавления достигает 70 %...80 %, также без дефектов. Важно отметить, что ни на одном из шлифов не обнаружено выплесков расплавленного металла, что является

прямым следствием введения в циклограмму этапа проковки с повышенным усилием, который активируется при достижении осадки 0,6 от высоты рельефа.

Испытание на отрыв выполнялось на универсальной разрывной машине (рис. 2, а). Образец с приваренной гайкой закреплялся в захватах, а в резьбовое отверстие гайки вкручивался калиброванный болт с упорной головкой.

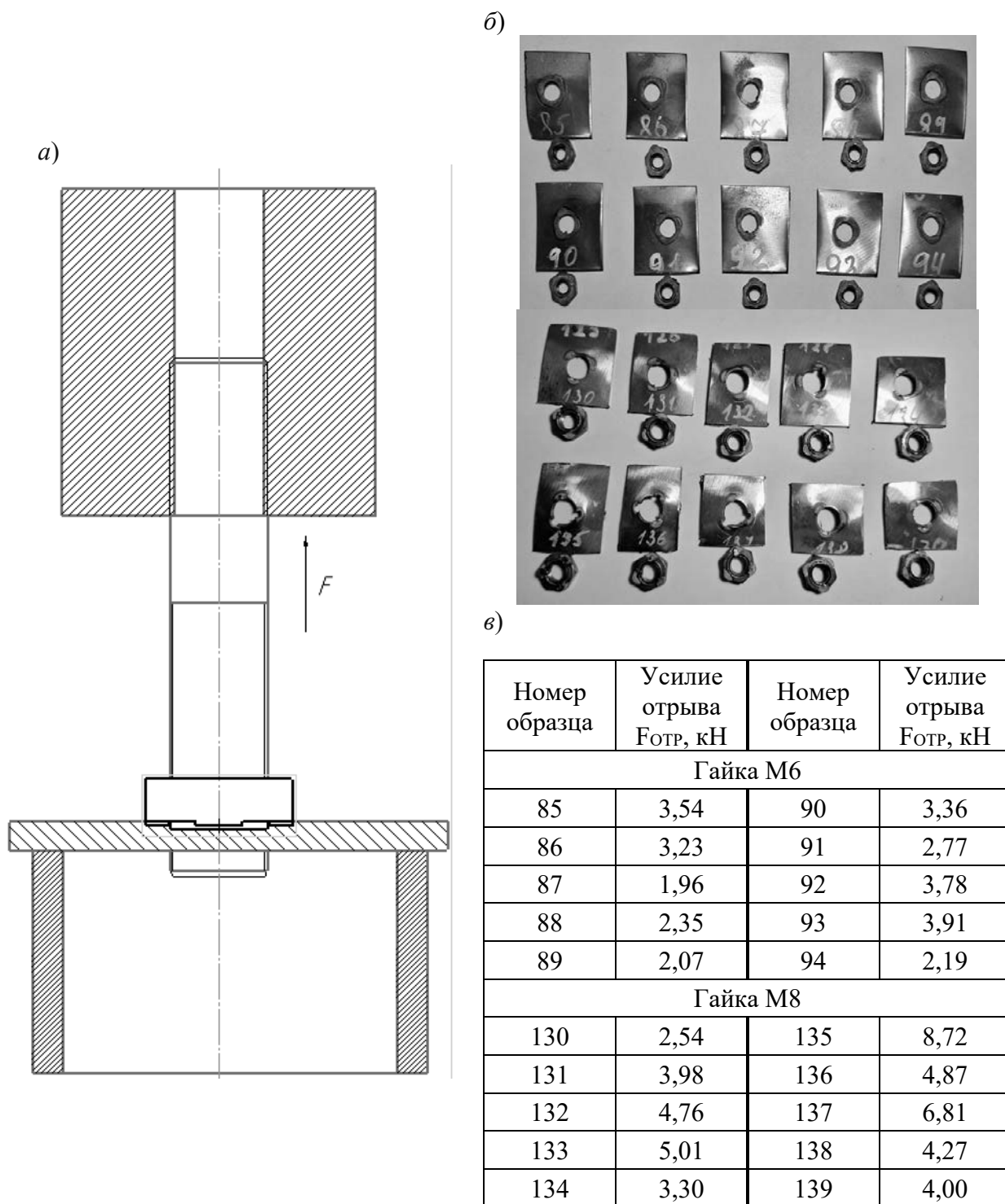


Рис. 2. Механические испытания соединения «гайка + пластина» на отрыв: а – схема испытаний; б – вид образцов после испытания; в – таблица значений усилий на отрыв образцов

Нагрузка прикладывалась до полного разрушения соединения, фиксировалось критическое усилие.

Разрушение соединений с гайкой М6 (рис. 2, б, верхний ряд) в большинстве случаев происходило по литому ядру, причём на поверхности пластины оставался чёткий кольцевой след от рельефа. При разрушении соединений с гайкой М8 (см. рис. 2, б, нижний ряд) в трех образцах наблюдался отрыв по границе сплавления с частичным разрывом основного металла, что говорит о достаточной прочности соединения.

Результаты механических испытаний на отрыв соединений гаек М6 и М8 (рис. 2, в) показали, что средние значения с запасом перекрывают нормативные требования, установленные для резьбовых соединений «панели задка» (не менее 25 Н·м для М6 и 45 Н·м для М8). Ни один образец не показал результат ниже допустимого минимума.

Характер разрушения, при котором соединение разрушалось не по сварному шву (литое ядро оставалось целым), а путём вырыва кольцевого фрагмента основного металла вместе с гайкой, свидетельствует о том, что прочность зоны сплавления превышает прочность самого листа и сварное соединение не является слабым звеном узла.

Вывод. Общее заключение по испытаниям: разработанный технологический процесс с адаптивным регулированием в среде LabView применительно к рельефной сварке гаек М6 и М8 с листом толщиной 1,5 мм обеспечивает стабильное формирование литого ядра и высокий уровень прочности. Уровень брака снижен до 0,8 %...1,0 % против 11 %...13 % в базовом варианте. Оставшийся разброс прочности связан с механическими погрешностями оборудования и может быть устранён путём калибровки машины по усилию сжатия электродов или применением более жёсткой станины, на которой крепится свариваемое изделие.