

УДК 621.791.14

**В.В. Красильников, Э.Р. Шагабутдинов, М.Е. Кузнецов,
И.В. Бородулин, В.В. Каратыш**

**V.V. Krasilnikov, E.R. Shagabutdinov, M.E. Kuznecov,
I.V. Borodulin, V.V. Karatysh**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

ТОЧЕЧНАЯ СВАРКА ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ С РАЗДЕЛЕНИЕМ ЦИКЛА СВАРКИ ДЛЯ НАХЛЕСТОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

THE FRICTION STIR SPOT WELDING BY LAP JOINT WITH SEPARATION OF THE WELD SYCLE

Описаны существующие методы точечной сварки трением с перемешиванием нахлесточных соединений. Приведена разработанная авторами технология сварки нахлесточных соединений с разделением цикла сварки на два этапа.

Ключевые слова: точечная сварка трением с перемешиванием, нахлесточное соединение, метод сварки с разделением цикла сварки, сварка алюминиевых сплавов, пин, плоский инструмент, инструмент с глухим отверстием, эксперимент.

Existing methods of friction stir spot welding (FSSW) lap joints has been considered. The technology in which cycle of two stages of lap joints FSSW has been developed and referenced by the authors.

Keywords: friction stir spot welding, lap joint, welding method with separation of the weld cycle, welding of aluminum alloys, pin, flat tool, a tool with a blind hole, experiment.

Сварку трением с перемешиванием (СТП) изобрел и запатентовал в декабре 1991 г. британский институт The Welding Institute (TWI). Заключается данный вид сварки в том, что пластичные материалы путем воздействия вращающегося инструмента на заготовки соединяются не в жидкой (расплавленной) фазе, а нагреваются за счет сил трения, доводятся до пластичного состояния, перемешиваются и при остывании образуют сварное соединение. Наиболее эффективное использование СТП нашла в сварке алюминия и сплавов цветных металлов на его основе. Шов, полученный СТП, полностью исключает возникновение газовых пор, что улучшает качество соединения и исключает

необходимость проведения дорогостоящего рентгеновского контроля [1]. Самое большое применение СТП нашла в авиакосмической отрасли, где затраты на внедрение и изучение нового вида сварки с запасом покрывались экономией от уменьшения массы аппаратов, узлы которых были изготовлены с помощью новой технологии. Также СТП позволяет снизить применение заклепочных соединений в летательных аппаратах на 65 %, что значительно снижает время сборки и повышает технологичность производства.

Помимо шовной СТП достаточно широко распространено получение нахлесточных соединений точечной сваркой трением с перемешиванием (ТСТП) деталей из сплавов цветных металлов на основе алюминия и меди. В настоящее время разработаны две внедренные в производство технологии получения точечных соединений.

Первая технология, разработанная фирмой Mazda, схематично представлена на рис. 1. После вывода инструмента в центре сварной точки остается углубление, по краям периферийной зоны – выступы или наплывы, такие неровности и углубления являются концентраторами напряжений и портят внешний вид соединения [2].

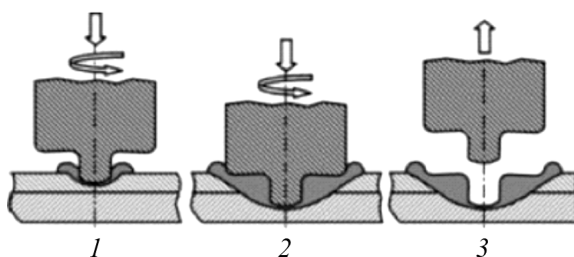


Рис. 1. Схема ТСТП: 1 – погружение инструмента; 2 – перемешивание металла деталей (образование сварного соединения); 3 – вывод инструмента

Вторая технология ТСТП, с заполнением шва, исправляет недостатки первой и позволяет получать соединения с ровной поверхностью сварной точки без резких переходов и утонения поперечного сечения (рис. 2). Однако эта технология требует применения сложного в изготовлении и наладке инструмента, состоящего из двух подвижных элементов с отдельными приводами, расположенных на одной оси вращения и совершающих вертикальные возвратно-поступательные перемещения относительно друг друга в зависимости от фазы формирования сварного соединения [2, 3]. Такой вид ТСТП больше подходит для металлов с высокой пластичностью и низкой плотностью, так как в этом случае требуются большие усилия для вдавливания инструмента в материал соединяемых деталей.

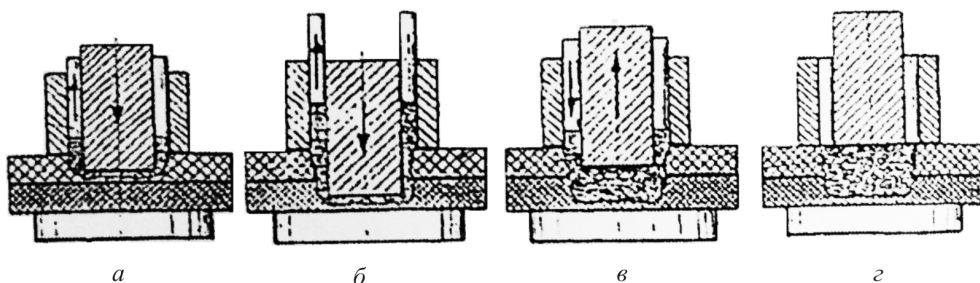


Рис. 2. Схема ТСТП с заполнением шва: *а* – внедрение инструмента сплошного сечения в материал верхней детали; *б* – отвод инструмента несплошного сечения вверх; *в* – подача инструмента несплошного сечения вниз, отвод инструмента сплошного сечения; *г* – готовая сварная точка

Основная задача нашей работы заключается в том, чтобы получить точечное сварное соединение деталей внахлест без характерных для ТСТП концентраторов напряжений (углубления в виде глухого отверстия в центре и наплывы по периферии сварной точки). При этом необходимо максимально упростить конструкцию установки и инструмента. По этим причинам было принято решение разбить цикл сварки на два этапа.

На первом этапе сварки используется инструмент с центральным углублением (рис. 3, *а*), после которого на лицевой стороне шва остается выпуклость, выдавленная из основного металла за счет пластических деформаций, возникающих внутри глухого отверстия инструмента (рис 4, *а*). Этот первый этап цикла сварки условно можно назвать точечной прихваткой, которая временно скрепляет соединяющие элементы.

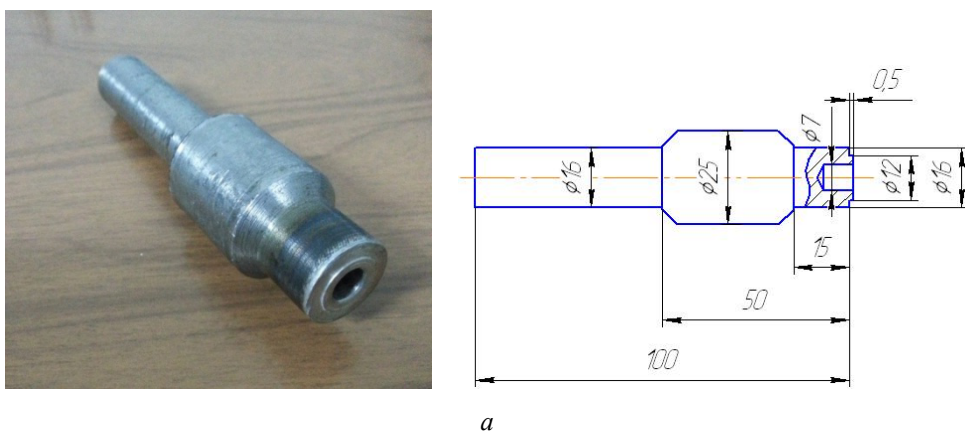


Рис. 3. Внешний вид и эскиз инструмента (см. также с. 51):
а – инструмент с углублением

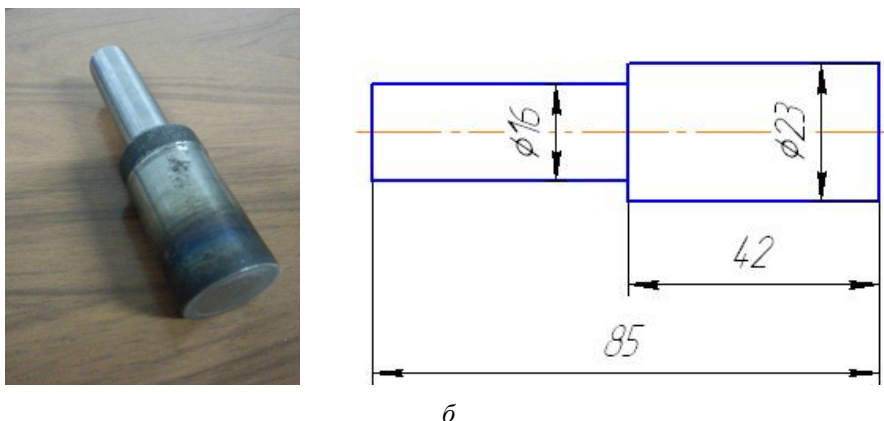


Рис. 3. Внешний вид и эскиз инструмента:
 б – плоский инструмент ($d = 23$ мм)



Рис. 4. Нахлесточное соединение: а – лицевая сторона шва;
 б – обратная сторона шва

На втором этапе сварки инструмент с плоским торцом (рис. 3, б) воздействует на выпуклую точку и перемешивает ее с основным металлом. Непосредственно образуется сварная точка, после чего остается ровная по-

верхность соединения, далее цикл сварки повторяется. При этом можно производить сварку как отдельными точками, так и с перекрестом (рис. 5).



a *б*

Рис. 5. Нахлесточное соединение с перекроем точек: *a* – лицевая сторона шва;
б – обратная сторона шва

На рис. 6 представлен образец соединения, на котором пробовались разные режимы по числу оборотов и величине диаметра инструмента с плоским торцом.



Рис. 6. Точечные соединения, полученные на разных режимах:
 № 9 – $n = 1600$ об/мин, диаметр плоского инструмента 30 мм; № 10 – $n = 1250$ об/мин, диаметр плоского инструмента 30 мм; № 11 – $n = 1000$ об/мин, диаметр плоского инструмента 24 мм; № 12 – $n = 800$ об/мин

В качестве материала для изготовления инструментов использовалась инструментальная сталь Р18 и сталь 40Х.

Заготовки для сварки изготавливались алюминиевого листа толщиной $\delta = 0,8$ мм марки ВД1АМ (ГОСТ 21631-76).

Длительность каждого цикла сварки достигает 20–30 с, при бесперебойной работе с формированием каждой новой точки это время сокращается за счет того, что инструмент не успевает остыть перед формированием нового соединения.

При оборотах инструмента ниже 1000 об/мин формирование точки получается некачественным (см. образец № 12 на рис. 6), так как выпуклая точка срезается с поверхности соединения во время закатки во втором цикле сварки или прямо во время формирования, в первом цикле.

Несмотря на простоту установки и отсутствие концентраторов напряжений, для данной технологии ТСТП существует ряд ограничений в применении. При сварке деталей с толщиной верхней пластины более 0,8 мм не удастся получить качественное и равнопрочное соединение. Возникают трудности и при изготовлении образцов для механических испытаний.

Данный метод сварки требует дальнейшего изучения и проектирования более совершенного инструмента и оборудования, которые позволят сократить время сварки и повысить прочностные характеристики сварного соединения.

Список литературы

1. Сергеева Е.В. Сварка трением с перемешиванием в авиакосмической промышленности (обзор) // Автоматическая сварка. – 2013. – № 5. – С. 58–62.
2. Friction Stir Welding and Processing / ed. by R.S. Misha, M.W. Mahoney. – San Francisco, 2005. – 298 p.
3. Dimensional Finite Element Model of the Friction Stir Spot Welding and Processing III / S.S.T. Kakarla [et al.]. – 2005. – San Francisco, 2005. – 275 p.

Получено 10.04.2015

Красильников Виталий Владимирович – магистрант, ПНИПУ, МТФ, гр. ЛТС-14м, e-mail: vitalces@yandex.ru.

Шагабутдинов Эльмир Райханович – магистрант, ПНИПУ, МТФ, гр. ЛТС-13м, e-mail: shagabbbb@mail.ru.

Кузнецов Максим Евгеньевич – студент, ПНИПУ, МТФ, гр. ТСП-11-16, e-mail: kuznecoff_85@inbox.ru.

Бородулин Иван Алексеевич – студент, ПНИПУ, МТФ, гр. ТСП-11-16, e-mail: gilmor1293@mail.ru.

Каратыш Виктор Васильевич – доцент, ПНИПУ, МТФ, e-mail: vkaratysh@mail.ru.