

Сотников А. Л.
д.т.н., профессор,
Пасечник С. Ю.
к.т.н., доцент

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР,

Орлов А. А.
аспирант

Донбасский государственный технический институт, г. Алчевск, ЛНР

ПРАКТИКА ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Визуальный и измерительный контроль (ВИК) является наиболее простым и доступным методом неразрушающего контроля (НК). Согласно исследованиям авторов [1], ВИК способен достаточно уверенно идентифицировать ряд дефектов сварных соединений, полученных сваркой трением с перемешиванием (СТП). Разработанная авторами классификация дефектов сварных соединений, полученных СТП позволяет во время их визуального контроля устанавливать сходство признаков дефектов и классифицировать их. Последнее можно выполнять в табличном виде. В качестве практического примера в данной работе рассматриваются результаты визуального контроля стыкового сварного соединения пластин из алюминия, полученного СТП.

Серия экспериментов по применению СТП проводилась с применением вертикального консольно-фрезерного станка типа 6Т12. Сварку вели специально изготовленным инструментом из нержавеющей стали 08Х18Н10. Наконечник инструмента имел простую форму с овальным профилем.

В эксперименте использовались заготовки пластин из алюминия марки А7Е, толщиной 6 мм, размещенные на подложке из стали, установленные и закреплённые в зажимах фрезерного станка.

Проводились три эксперимента с варьированием следующих режимов сварки (табл. 1): глубины погружения инструмента и длины хвостовика инструмента.

На рисунке 1 представлены изображения внешнего вида сваренных пластин из алюминия с лицевой стороны шва (рис. 1, а) и со стороны корня шва (рис. 1, б) после выполненных экспериментов № 1, № 2 и № 3. На заготовках отмечены области, играющие важную роль в описании выявляемых дефектов: з1, з2 — зона ввода и вывода сварочного инструмента, соответственно; з3 — зона интереса, в области которой располагаются выявленные дефекты; НС, ОС — набегающая и отступающая сторона шва, образуемые в результате перемешивания расплавленного алюминия в процессе сварки.

Таблица 1 — Режимы СТП при проведении экспериментов

Наименование параметра	Значение по экспериментам		
	№ 1	№ 2	№ 3
Скорость вращения инструмента, мин ⁻¹	800	800	800
Скорость подачи инструмента, мм/мин	40	40	40
Угол наклона инструмента, град	2	2	2
Глубина погружения инструмента, мм	0,5	0,5	0,6 ↑
Длина хвостовика инструмента, мм	130	78 ↓	78
Температура окружающей среды	0 °С*		

*Так как эксперименты проводились в неотапливаемом цехе, заданные режимы сварки могли в неполной мере обеспечить необходимую температуру плавления алюминия.



- а — заготовки с лицевой стороны шва; б — заготовки со стороны корня шва;
 1, 2, 3 — заготовки, полученные в ходе эксперимента № 1, № 2, № 3, соответственно;
 31 — зона, соответствующая началу входа инструмента в заготовку;
 32 — зона выхода инструмента из заготовки; 33 — зона повышенного внимания;
 НС — набегающая сторона шва; ОС — отступающая сторона шва

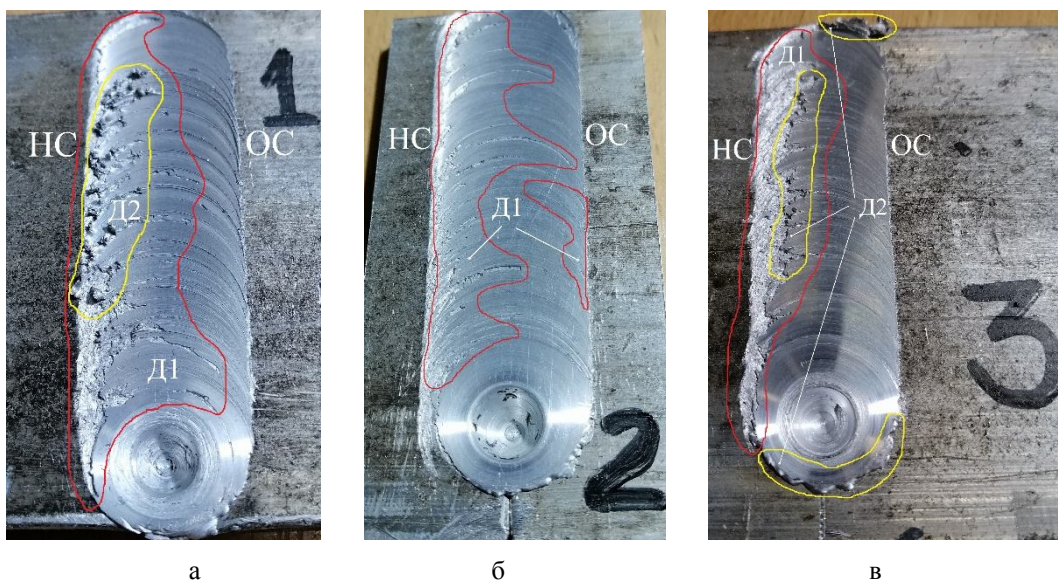
Рисунок 1 — Общий вид полученных сварных соединений

Чешуйчатый вид сварного шва является типовой структурой шва при сварке трением с перемешиванием и не является дефектом.

На заготовках со стороны корня шва (зона повышенного внимания — 33, обозначенная на рисунке 1, б) можно наблюдать общий дефект для всех трёх испытаний — продольная трещина в металле, которая выходит на поверхность корневой части шва.

Вид образца, содержащий дефект в виде заглаженного плечами инструмента непровара приведен на рисунке 2, б. По фотографии полученного методом СТП сварного шва видно, что дефект находится непосредственно под лицевой стороной сварочного шва и имеет устойчивую внутреннюю поверхность с внутренними полостями в тонком подповерхностном слое. Дефект явно выражен по наступающей стороне шва.

На образцах № 1 (рис. 2, а) и № 3 (рис. 2, в) можно наблюдать аналогичную ситуацию, как на образце № 2 (рис. 2, б) — дефект на набегающей стороне шва. Однако дефект имеет более выраженную структуру несплавления (зона Д1). Сварные швы, полученные в ходе эксперимента № 1 и № 3, имеют только частично заглаженные плечами инструмента участки, что не позволяет идентифицировать этот дефект как заглаженный непровар. Учитывая схожесть условий испытаний, можно определить этот дефект как несплавление на лицевой стороне шва для всех трех образцов.



Д1 — зона дефекта в виде несплавления на лицевой стороне шва; Д2 — зона дефекта типа грата;
 1, 2, 3 — заготовки, полученные в ходе эксперимента №1, №2, №3, соответственно;
 НС — набегающая сторона шва; ОС — отступающая сторона шва

Рисунок 2 — Вид лицевой поверхности шва с дефектами

При визуальном обследовании образцов испытаний № 1 и № 3 в зоне сварных швов можно обнаружить дефект типа грата (зона Д2 на рисунке 2). Следует учесть, что зона у двух вышеперечисленных дефектов совпадает и располагается на набегающей стороне шва, что является распространённым участком для образования дефектов при СТП [2] и свидетельствует о выборе неподходящих режимов сварки [3].

Согласно результатам исследования [4], причинами возникновения таких дефектов могут являться малый диаметр бурта инструмента; большой диаметр наконечника инструмента; недостаточное заглубление бурта инструмента в свариваемый металл; большие зазор в стыке и смещение оси стыка относительно инструмента; ненадежная фиксация свариваемых кромок.

Обнаруженный в ходе экспериментов в данном исследовании перечень дефектов имеет высокий коэффициент корреляции с выявляемыми дефектами визуальным и измерительным методом неразрушающего контроля сварных соединений СТП, представленные в классификации [1]. В результате сварки трением с перемешиванием заготовок из алюминия, образуются типовые внешние (поверхностные) дефекты, такие как несплавление на лицевой стороне шва и продольная трещина с выходом на внешнюю часть корня шва, которые можно определить с помощью визуального метода неразрушающего контроля.

Обнаруженные в результате обследования заготовок трёх испытаний дефекты представляют высокую опасность, поскольку существенно влияют на прочность сварного соединения. Можно заключить, что причинами возникновения подобных дефектов является нарушение оптимального режима сварки. В этой связи необходимо дальнейшее проведение серии экспериментов по подбору оптимальных параметров сварки.

Используемый в работе метод контроля может быть рекомендован как первичный для обнаружения только поверхностных дефектов размером не менее 0,1 мм.

Список литературы

1. Сотников, А. Л. Классификация методов неразрушающего контроля сварных соединений из меди, полученных сваркой трением с перемешиванием / А. Л. Сотников, А. А. Муховатый, А. А. Орлов // Сварка и диагностика. — 2022. — № 3 — С. 19–24.

2. Филиппов, А. В. Определение дефекта в виде заглаженного непровара после сварки трением с перемешиванием при неразрушающем контроле / А. В. Филиппов, С. Ю. Тарасов, Е. А. Колубаев, В. Е. Рубцов // *Фундаментальные исследования*. — 2015. — № 6. — С. 296–300.
3. Феофанов, А. Н. Влияние величины подачи рабочего инструмента при сварке трением с перемешиванием на механические свойства стыковых соединений сплава 1565ч / А. Н. Феофанов, В. В. Овчинников, А. М. Губин // *Современные материалы, техника и технологии*. — 2019. — № 4 (26). — С. 226–239.
4. Покляцкий, А. Г. Характерные дефекты при сварке трением с перемешиванием тонколистовых алюминиевых сплавов и основные причины их образования / А. Г. Покляцкий // *Автоматическая сварка*. — 2008. — № 6. — С. 48–52.