

# ПОВЫШЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ НАХЛЕСТОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТОНКОЛИСТОВЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ СВАРКОЙ ПЛАВЛЕНИЕМ

**В. В. КНЫШ, И. Н. КЛОЧКОВ, И. В. БЕРЕЗИН**

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Нахлесточные соединения отличаются своей простотой подготовки и сборки под сварку, однако из-за ряда технологических факторов им свойственны низкие значения циклической долговечности. Экспериментально показано влияние конструктивного эксцентриситета и величины нахлеста на сопротивление усталости нахлесточных сварных соединений тонколистовых алюминиевых сплавов АМг6 и 6061-T6, выполненных импульсно-дуговой сваркой плавящимся электродом в среде защитных газов. Предложено применение высокочастотной механической проковки зон перехода металла шва к основному металлу как метода холодной правки для снижения значений конструктивного эксцентриситета и повышения значений сопротивления усталости сварных соединений. В результате односторонней высокочастотной механической проковки малой интенсивности происходит пластическая деформация поверхностного слоя металла в зоне обработки, приводящая к образованию системы остаточных напряжений, воздействие которых вызывает отгибание в плоскости соединения. Режим обработки подбирается таким образом, чтобы угол несоосности относительно приложения нагрузки в обработанных соединениях был близким к нулю. Установлено, что упрочнение высокочастотной механической проковкой галтельных участков зон сплавления двух угловых швов тонколистовых нахлесточных соединений исследуемых алюминиевых сплавов приводит к повышению их ограниченных пределов выносливости на базе долговечностей от  $5 \cdot 10^3$  до  $10^6$  циклов перемен напряжений, увеличивая их циклическую долговечность до 30 раз при отнулевом нагружении. Библиогр. 11, рис. 4.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, тонколистовые алюминиевые сплавы, нахлесточные сварные соединения, сопротивление усталости, конструктивный эксцентриситет, высокочастотная механическая проковка, упрочнение

Применение нахлесточных сварных соединений алюминиевых сплавов обусловлено их высокой технологичностью. В силу простоты подготовки и сборки под сварку их часто применяют для сварки листовых заготовок. Преимуществом соединения листов внахлестку является также отсутствие необходимости обработки кромок при любой толщине и меньшие усадочные напряжения по сравнению со сваркой встык. Однако нахлесточным сварным соединениям, выполненным двумя односторонними угловыми швами, свойственна высокая концентрация напряжений, которая главным образом обусловлена действием конструктивного эксцентриситета. Совместное воздействие эксцентриситета и концентратора напряжений, обусловленного геометрической формой соединения, значительно снижает сопротивление усталости нахлесточных соединений [1].

Для уменьшения послесварочной угловой деформации тонколистовых сварных элементов применяют различные способы тепловой и холодной правки всей конструкции и отдельных ее узлов [1–8], основанные на применении неравномерного локального или объемного пластического деформирования. К таким способам правки кон-

структивных элементов относятся: молотковая проковка, прокатка сварного шва роликами, а также гибка вдоль шва и вибрационная обработка конструктивного элемента [9]. Основным недостатком холодной правки при высоких интенсивностях обработки является образование высоких растягивающих остаточных напряжений, неравномерно распределенных по толщине. Кроме того, холодная правка не всегда улучшает геометрию профиля в зоне перехода металла шва к основному металлу [5, 10]. При правке тонколистовых материалов широко используют одностороннюю обработку поверхности струей стальной дроби [10, 11]. Пластически деформируемый поверхностный слой металла в зоне такой обработки действует на нижележащие пластически недеформированные слои металла как внецентренная сила растяжения и вызывает их упругое деформирование. При этом формируется система уравновешенных по толщине остаточных напряжений: сжимающие напряжения в активном наклепанном слое, напряжения растяжения в нижележащих и центральных слоях металла и сжимающие напряжения на поверхности с обратной стороны элемента. Дробеструйная обработка малой интенсивности создает низкие уровни растягивающих остаточных

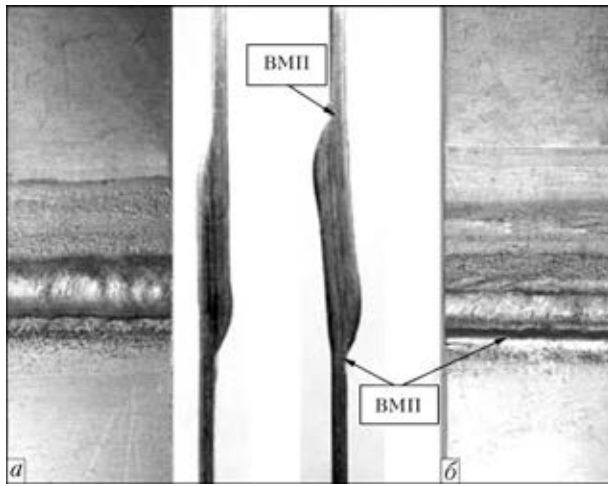


Рис. 1. Образцы нахлесточного сварного соединения в исходном после сварки состоянии (а) и после ВМП зон сплавления (б)

напряжений в центральных слоях металла, а введенные на поверхности сжимающие остаточные напряжения способствуют значительному повышению сопротивления усталости элемента в зоне правки.

Настоящая работа посвящена экспериментальному установлению эффективности применения технологии высокочастотной механической проковки (ВМП) тонколистовых нахлесточных сварных соединений как метода холодной правки с целью повышения сопротивления усталости. Приведены результаты усталостных испытаний сварных соединений алюминиевых сплавов АМг6 (Al-Mg-Mn) и 6061-T6 (Al-Mg-Si), выполненных импульсно-дуговой сваркой плавящимся электродом в среде инертных газов, в исходном после сварки состоянии и после упрочнения ВМП.

При одностороннем упрочнении технологией ВМП зоны перехода металла шва к основному металлу нахлесточных сварных соединений исследуемых алюминиевых сплавов проявляется эффект отгибания плоскости сварного соединения, подобный тому, который имеет место при дробеструйной обработке малой интенсивности основного металла. Это способствует устранению угловой остаточной деформации в тонколистовых нахлесточных сварных соединениях и, как следствие, сводит к минимуму нежелательные моменты сил, возникающие при нагружении соединений с конструктивным эксцентриситетом. Образцы нахлесточных сварных соединений сплава АМг6 толщиной 2 мм в исходном после сварки состоянии и после ВМП приведены на рис. 1.

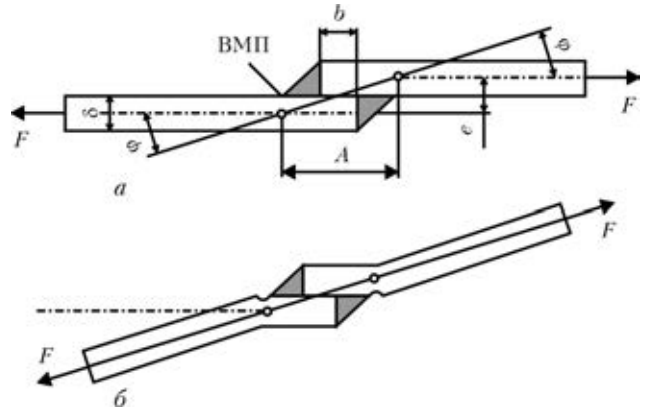


Рис. 2. Схема нахлесточного соединения: а — исходное после сварки состояние; б — после ВМП

Для проведения экспериментальных исследований из листового проката алюминиевых сплавов АМг6 и 6061-T6 толщиной 2 и 3 мм соответственно были сварены заготовки нахлесточных соединений в виде пластин размерами 250×500 мм с напуском 2δ и 5δ (мм). Сварку проводили двумя швами плавящимся электродом в смеси аргона и гелия. При сварке пластины жестко зажимали в кондукторе.

Угол несоосности φ приложения усилия F в нахлесточных соединениях определяли через отношение величины эксцентриситета e к ширине соединения как:

$$\varphi = \arctg \left( \frac{e}{A} \right).$$

Ширину соединения A (рис. 2, а) принимали равной сумме размера напуска и двух размеров катета шва, равных толщине основного металла δ. Для нахлесточных соединений пластин одинаковой толщины основного металла δ эксцентриситет e соответственно равнялся толщине пластин. При упрочнении ВМП двух зон сплавления нахлесточных соединений исследуемых алюминиевых сплавов режимы обработки подбирали таким образом, чтобы угол несоосности φ в упрочненных соединениях был близким к нулю (рис. 2, б).

Испытания на усталость образцов нахлесточных соединений длиной 250 мм и шириной рабочего сечения 40 мм (рис. 3) в исходном после сварки состоянии и после локальной ВМП проводили на сервогидравлической испытательной машине MTS 318.25 с цифровым управлением при отнулевой асимметрии цикла. Образцы вырезали



Рис. 3. Образец нахлесточного соединения для испытаний на усталость

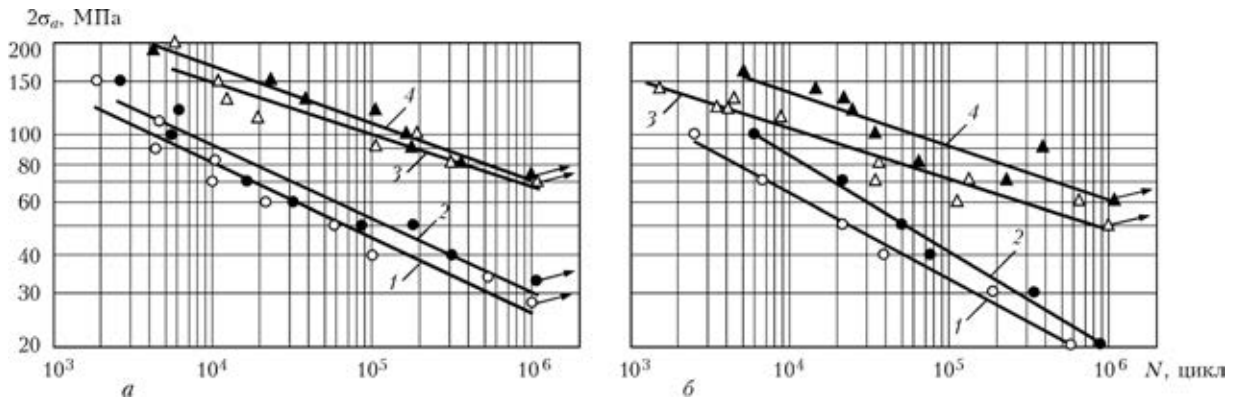


Рис. 4. Кривые усталости нахлесточных соединений: *a* — сплав АМг6 толщиной 2 мм; *б* — сплав 6061-Т6 толщиной 3 мм; 1, 2 — исходное после сварки состояние с напуском 2δ и 5δ соответственно; 3, 4 — после ВМП с напуском 2δ и 5δ соответственно

перпендикулярно соединению из крупногабаритных сварных заготовок.

Экспериментально установлено, что ВМП зоны перехода металла шва на основной металл повышает ограниченный предел выносливости нахлесточных соединений на всей базе испытаний от  $5 \cdot 10^3$  до  $10^6$  циклов перемен напряжений тонколистовых алюминиевых сплавов АМг6 и 6061-Т6 (рис. 4). На базе  $10^6$  циклов перемен напряжений их условный предел выносливости увеличивается на 40...45 МПа, что составляет 2,3...2,5 раза для АМг6 и 2,7...3,0 раза для 6061-Т6 (рис. 4). Такое повышение сопротивления усталости при применении ВМП нахлесточного соединения прежде всего обусловлено устранением конструктивного эксцентриситета, а также обеспечением более плавного перехода металла шва к основному металлу и упрочнением поверхностного слоя. Уменьшение размера напуска приводит к снижению долговечности соединений как в исходном состоянии, так и после ВМП. Это связано с тем, что при малых размерах напуска увеличивается значение угла φ, уменьшить его в соединениях с малым размером напуска можно, затратив больше времени на выполнение ВМП.

Таким образом, эксцентриситет или угловую несоосность приложения усилия в нахлесточных сварных соединениях тонколистовых алюминиевых конструкций можно устранять с одновременным формированием более благоприятного профиля перехода металла шва к основному металлу путем обработки зон сплавления технологией ВМП.

## Выводы

1. Установлены кривые усталости нахлесточных соединений сплава АМг6 толщиной 2 мм и сплава 6061-Т6 толщиной 3 мм с напусками в две и пять толщин, выполненных импульсно-дуговой сваркой плавящимся электродом в среде инертных газов, в исходном после сварки состоянии и после упрочнения ВМП.

2. Экспериментально установлено, что ВМП двух зон сплавления тонколистовых нахлесточных соединений алюминиевых сплавов АМг6 и 6061-Т6 повышает ограниченные пределы выносливости соединений на базе долговечностей от  $5 \cdot 10^3$  до  $10^6$  циклов перемен напряжений, увеличивая их циклическую долговечность в 25...30 раз для сплава АМг6 и в 10...20 раз для сплава 6061-Т6.

3. Упрочнение ВМП галтельных участков угловых швов тонколистовых нахлесточных соединений повышает ограниченный предел выносливости на базе  $10^6$  циклов перемен напряжений для сплава АМг6 до 2,5 раз, а для 6061-Т6 — до 3 раз при отнулевом переменном нагружении.

1. Кудрявцев И. В., Наумченко Н. Е. Усталость сварных конструкций. — М.: Машиностроение, 1976. — 270 с.
2. Шонин В. А., Машин В. С., Войтенко О. В. Повышение сопротивления усталости тавровых сварных соединений тонколистового алюминиевого сплава АМг6 // Автомат. сварка. — 2003. — № 7. — С. 9–13.
3. Сагалевиц В. М. Методы устранения сварочных деформаций и напряжений. — М.: Машиностроение, 1974. — 248 с.
4. Киселев С. Н. Газоэлектрическая сварка алюминиевых сплавов. — М.: Машиностроение, 1972. — 176 с.
5. Троцун И. П. Внутренние усилия и деформации при сварке. — М.: Машгиз, 1964. — 247 с.
6. Махненко В. И., Мосенкис Р. Ю. Расчет коэффициентов концентрации напряжений в сварных соединениях со стыковыми и угловыми швами // Автомат. сварка. — 1985. — № 8. — С. 7–19.
7. Sanders W. W., Day R. H. Fatigue of aluminium alloy weldments // WRC Bulletin. — 1969. — August. — P. 21.
8. Степанов В. Г., Клесто М. И. Поверхностное упрочнение корпусных конструкций. — Л.: Судостроение, 1977. — 197 с.
9. Сагалевиц В. М. Методы устранения сварочных деформаций и напряжений. — М.: Машиностроение, 1974. — 248 с.
10. Степнов М. Н., Гуацинтов Е. В. Усталость легких конструкционных сплавов. — М.: Машиностроение, 1973. — 317 с.
11. Hertel H. Ermuedungsfestigkeit der Konstruktionen. — Berlin: Springer-Verl., 1969. — 659 S.

Поступила в редакцию 01.02.2013