

УДК 621. 791

Б. В. СИТНИКОВ, канд. техн. наук

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,  
г. Харьков

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СОЕДИНЕНИЯХ СПЛАВА АМгб

*Приведены сведения о влиянии параметров режима импульсно-дуговой сварки вольфрамовым электродом в аргоне на распределение остаточных напряжений в стыковых соединениях сплава АМгб, которые могут быть использованы для выбора оптимальных режимов сварки, позволяющих повысить эксплуатационные характеристики сварных конструкций и их технологичность.*

*Наведено відомості про вплив параметрів режиму імпульсно-дугового зварювання вольфрамовим електродом в аргоні на розподіл залишкових напруг у стикових з'єднаннях сплаву АМгб, які можуть бути використані для вибору оптимальних режимів зварювання, що дозволяють підвищити експлуатаційні характеристики зварних конструкцій і їхню технологічність.*

### Общая постановка проблемы

Местный нагрев металла при сварке в значительной мере является определяющим фактором образования и развития деформаций и напряжений в зоне термического влияния. В свою очередь, их уровни и зона распространения могут существенным образом отразиться на точности, технологичности и трудоемкости изготовления сварной конструкции, а также на ее эксплуатационных характеристиках. В наибольшей степени это относится к тонкостенным конструкциям с большим количеством и протяженностью сварных швов, особенно если они изготовлены из легких сплавов [1–3].

Во время изготовления сварных конструкций искажаются проектные формы и размеры изделий, на восстановление которых затрачивается много труда. Проведение различных технологических операций при изготовлении сварной конструкции, например, таких как механическая обработка, приводит к перераспределению напряжений, искажению точных размеров конструкции, в некоторых случаях к разрушениям в местах концентраторов [1, 4].

В условиях эксплуатации остаточные напряжения и пластические деформации металла могут способствовать уменьшению прочности, коррозионной стойкости, жесткости или точности сварной конструкции. Обоснованное и грамотное применение методов предотвращения и устранения сварочных напряжений и деформаций позволяет, с одной стороны, экономно изготавливать сварные конструкции, с другой — существенно повысить их качество и надежность [1, 4].

### Анализ проведенных исследований

С целью регулирования и устранения сварочных деформаций и напряжений разработано много методов, эффективных в том или ином случае. Одной из основных принципиальных возможностей уменьшения сварочных деформаций и напряжений является снижение пластической деформации укорочения либо ширины зоны ее распространения при нагреве путем регулирования термического воздействия при сварке [3, 4]. На этом принципе основаны способы регулирования сварочных деформаций и напряжений, предусматривающие воздействие на тепловые характеристики процесса, связанного с подбором соответствующих режимов сварки с учетом уменьшения объема пластического укорочения, общим или локальным подогревом деталей перед сваркой и искусственным теплоотводом от зоны шва [3, 5].

По мнению ряда авторов, применение оптимальных полей подогрева даёт возможность получать сварные соединения со сравнительно небольшими остаточными напряжениями. При этом их суммарная величина существенно зависит от расположения и размеров зоны подогрева. Для назначения подогрева нужно указать профиль температурного поля (начало и конец зоны подогрева, максимальный уровень температуры и сечение, в котором он достигается). С увеличением толщины свариваемых деталей нужно вести подогрев в области дальше отдаленной от шва до более высоких температур. Для материалов с большими значениями механических характеристик подогрев следует вести ближе к шву и увеличивать максимальную температуру подогрева. Однако, о применении подогрева для уменьшения уровня сварочных напряжений и деформаций, среди исследователей нет единого мнения в оценке его эффективности. Кроме того, подогрев деталей перед сваркой требуют значительных энергетических затрат [3].

Искусственный теплоотвод при сварке можно осуществлять от сварного шва, зоны термического влияния или сварного шва и зоны термического влияния одновременно. Простейшими теплоотводящими устройствами являются медные подкладки, применяемые для формирования корня шва при сварке шва с полным проплавлением кромок. Эффективность теплоотвода с помощью подкладок зависит от их размеров, разности температур подкладки и сварного соединения, термического сопротивления зоны контакта подкладки и сварного соединения. Повышают эффективность теплоотвода и стабилизируют теплоотводящие свойства в теплоотводящих подкладках охлаждающие каналы. При использовании в процессе сварки технологических оснасток с различного рода прижимными теплоотводящими накладками необходим хороший, гарантированный по всей площади соприкосновения тепловой контакт. Это, как правило, неосуществимо в полной мере в случае протяженных сварных швов, и особенно при криволинейных поверхностях и сложной форме конструкций. Кроме того, такие специализированные оснастки не универсальны, громоздки и дорогостоящи, а их применение нередко требует значительных затрат ручного труда [2]. Известны примеры успешного использования охлаждающих жидкостей, контактирующих непосредственно с нагреваемой поверхностью [2, 6]. Но этот путь в условиях реального производства требует решения ряда проблем технологического характера, а также задачи защиты зоны соединения, дуги и сварочной ванны от воды и ее паров. Определенные преимущества дает применение так называемых теплопоглощающих паст. Эти пасты, наносимые перед сваркой в зоне термического влияния или подаваемые на закристаллизовавшийся металл шва вслед за движущейся дугой, обеспечивают эффективный теплоотвод независимо от формы, площади и пространственного положения нагретой поверхности [2, 3]. При этом значительная часть тепла, обычно переходящего в основной металл, интенсивно поглощается пастой. Однако при дуговой сварке пары воды, интенсивно выделяющиеся из пасты, могут отрицательно влиять на стабильность сварочного процесса. Преимущества способов теплоотвода с использованием кристаллических теплопоглотителей заключаются в их простоте, высокой технологичности и универсальности. Однако кристаллические теплопоглотители являются расходными материалами и могут отводить ограниченное количество тепла [2, 3]. Известны [7] способы теплоотвода с применением в качестве теплопоглотителей низкотемпературных сред (жидкий азот, сухой лёд). Такие методы достаточно эффективны с точки зрения теплоотвода, но нетехнологичны из-за сложности использования низкотемпературных сред, а также весьма дороги.

Возможности воздействия на тепловую обстановку как в твёрдом, так и в жидком металле значительно расширяются при сварке импульсной дугой [8, 9]. В отличие от сварки непрерывной дугой импульсная характеризуется подачей тока отдельными импульсами с определёнными регулируемыми интервалами по времени. Регулярность повторных возбуждений в начале каждого импульса, а также пространственная устойчивость дуги обеспечиваются благодаря горению в промежутках между импульсами и паузами маломощной дежурной дуги. Шов при этом образуется путём расплавления отдельных точек с заданным перекрытием. Шаг точек, время расплавления точки, пауза между постановкой точек регулируется, в связи с этим

изменяются условия нагрева и охлаждения металла затвердевающей точки, величина её усадки и деформации, а следовательно, и величина остаточных напряжений.

К основным параметрам режима сварки импульсной дугой относятся величина сварочного тока  $I_n$ , действующего в период импульса, скорость сварки  $V_{св}$ , длительность импульса  $t_n$ , длительность паузы  $t_p$  жёсткость режима  $G = t_n / t_u$  и длительность цикла  $T_u = t_n + t_u$ . Варьируя параметрами импульсного процесса, можно эффективно воздействовать на форму и размеры сварочной ванны, на кристаллизацию металла, на формирование шва, на временные и остаточные деформации и другие показатели процесса сварки [8, 9].

### Формирование целей статьи

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию влияния параметров режима импульсно-дуговой сварки вольфрамовым электродом в аргоне на распределение остаточных напряжений в стыковых соединениях алюминиевого сплава АМг6 толщиной 2мм.

### Основной материал

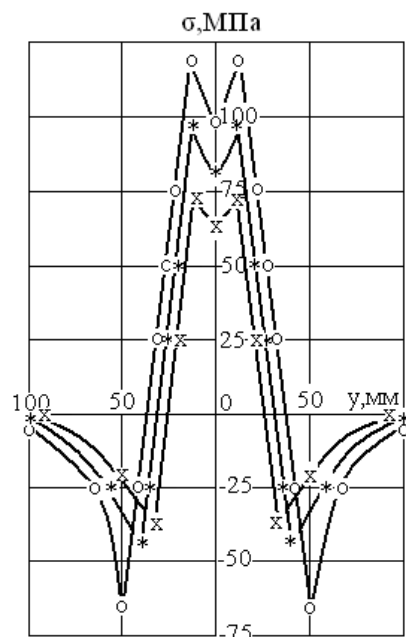
Автоматическую сварку образцов размером 300 x 400 мм выполняли встык без разделки кромок за один проход в нижнем положении вольфрамовым электродом марки ЭВЛ (ГОСТ 23949-80) диаметром 4 мм в аргоне высшего сорта (ГОСТ 10157-79) на установке АСТВ-2М. Сварку проводили на переменном токе от источника питания ТИР-300Д с приставкой, позволяющей регулировать процесс проплавления основного металла и формирования шва за счёт пульсации тока дуги с постоянным заданным соотношением импульса и паузы.

Величину тока импульса устанавливали из условия одинаковой ширины проплавления с обратной стороны шва. Ток дежурной дуги во время паузы не оказывал существенного влияния на глубину проплавления и не превышал 15 А. Расход защитного газа во всех опытах оставался постоянными и был равен 12 л/мин. Свариваемые образцы были подвергнуты специальной обработке по их очистке. Газоподводящую аппаратуру, шланги и сварочную горелку тщательно промывали спиртом перед началом сварочных работ и регулярно очищали и промывали в процессе работы.

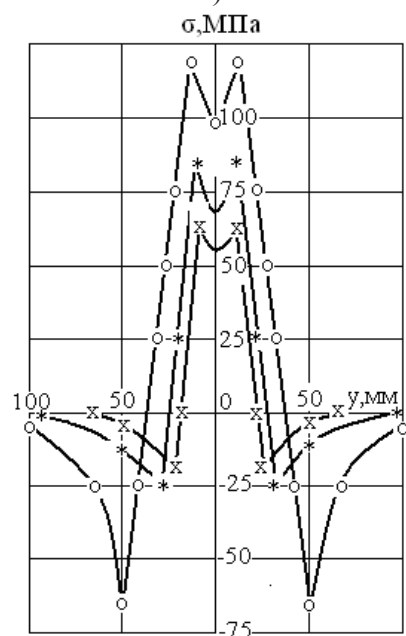
Остаточные напряжения в образцах измеряли с помощью механического тензометра по методике приведенной в работе [1].

На рис. 1а представлены результаты измерений остаточных напряжений в поперечном сечении стыкового соединения алюминиевого сплава АМг6 толщиной 2 мм при сварке со скоростью 8, 16 и 24 м/ч. Как видно из приведенных зависимостей, с увеличением скорости сварки с 8 до 24 м/ч величина максимальных растягивающих напряжений и ширина зоны их действий уменьшается. Так, например, при скорости сварки 8 м/ч, ширина растягивающих напряжений составляет 75 мм, а при скорости сварки 24 м/ч – 50 мм; величина максимальных растягивающих напряжений при скорости сварки 8 м/ч равна 120 МПа, а при скорости сварки 24 м/ч – 70 МПа.

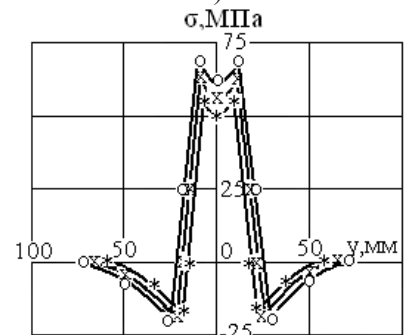
Величина и характер распределения сварочных напряжений находится в прямой зависимости от погонной энергии сварки, которая определяется режимом сварки [10]. При малых скоростях сварки проплавающая способность дуги минимальна и для получения полного проплавления свариваемых кромок необходима значительная погонная энергия, что приводит к возрастанию величины максимальных растягивающих напряжений и ширины зоны их действий. Снижение проплавающая способность дуги при малых скоростях сварки объясняют [10] уменьшением интенсивности вытеснения жидкого металла в хвостовую часть сварочной ванны, что характерно для случаев сварки с повышенной скоростью. У основания дуги образуется слой жидкого металла, который препятствует проплавлению основного металла.



а)



б)



в)

Рис.1. Распределение остаточных напряжений в поперечном сечении стыкового сварного соединения сплава АМг6 толщиной 2мм : а) —  $G = 0$ ;  $o - o - V_{св} = 8\text{м/ч}$ ;  $* - * - V_{св} = 16\text{м/ч}$ ;  $x - x - V_{св} = 24\text{м/ч}$ ; б) —  $V_{св} = 8\text{м/ч}$ ;  $T_{ц} = 0,48\text{с}$ ;  $o - o - G = 0$ ;  $* - * - G = 1$ ;  $x - x - G = 2$ ; в) —  $G = 2$ ;  $V_{св} = 8\text{м/ч}$ ;  $o - o - T_{ц} = 0,42\text{с}$ ;  $x - x - T_{ц} = 0,48$ ;  $* - * - T_{ц} = 0,54\text{с}$ .

Повышение скорости сварки приводит к уменьшению толщины слоя жидкого металла под дугой, увеличению её проплавляющей способности и снижению погонной энергии, необходимой для обеспечения полного проплавления свариваемых кромок.

Величина максимальных растягивающих напряжений и ширина зоны их действий в значительной степени определяется и жёсткостью режима сварки. Как видно из приведенных зависимостей (рис. 1,б), при постоянной скорости сварки ( $V_{св} = 8$  м/ч) и длительности цикла ( $T_{ц} = 0,48$  с.), с увеличением жёсткости режима сварки величина максимальных растягивающих напряжений и ширина зоны их действий существенно уменьшаются. Так, например, при  $G = 0$ , ширина растягивающих напряжений составляет 75 мм, а при  $G = 2 - 45$  мм.; величина максимальных растягивающих напряжений при  $G = 0$  равна 120 МПа, а при  $G = 2 - 65$  МПа.

Такую разницу в распределении остаточных напряжений, видимо, можно объяснить снижением затрат погонной энергии на проплавление металла с увеличением жёсткости режима сварки. Распределение остаточных напряжений при сварке на более жёстких режимах ( $G > 2$ ) исследовано не было, так как при выбранной толщине листа наблюдалось значительное провисание металла в корне шва и его огрубление с наружной поверхности (рис. 2.). Образование таких дефектов, очевидно, связано с увеличением тока импульса и, как следствие, силы давления дуги [11].



Рис. 2. Внешний вид шва x 2: а)-  $G = 2$ ; б)-  $G = 3$

Для исследования влияния времени  $T_{ц}$  на распределение остаточных напряжений были сварены образцы при следующих длительностях цикла сварки: 0,42; 0,48 и 0,54 с. Скорость и жёсткость режима сварки при этом оставались постоянными и были, соответственно, равны  $V_{св} = 8$  м/ч и  $G = 1$ .

Распределение остаточных напряжений в поперечном сечении сварного соединения при различных длительностях цикла сварки приведено на рис. 1,в. Как следует из приведенных зависимостей, при  $T_{ц} \in [0,42, 0,54]$  с. увеличение длительности цикла сварки (в отличие от скорости и жёсткости режима сварки) приводит к сравнительно незначительному уменьшению величины максимальных растягивающих напряжений и ширины зоны их действий. Так, например, при  $T_{ц} = 0,42$  с, ширина растягивающих напряжений составляет 45 мм, а при  $T_{ц} = 0,54$  с - 40 мм.; величина максимальных растягивающих напряжений при  $T_{ц} = 0,42$  с равна 65 МПа, а при  $T_{ц} = 0,54$  с - 55 МПа.

### Выводы

При импульсно-дуговой сварке вольфрамовым электродом в аргоне алюминиевого сплава АМг6 толщиной 2мм распределение остаточных напряжений в поперечном сечении стыковых соединений в основном определяется скоростью и жёсткостью режима сварки; увеличение скорости и жёсткости режима сварки приводит к уменьшению величины максимальных растягивающих напряжений и ширины зоны их действий.

### Список литературы

1. Винокуров В. А., Григорьянц А. Г. Теория сварочных деформаций и напряжений.- М.: Машиностроение, 1984. – 271 с.
2. Лобанов Л. М., Павловский В. И., Логинов В. П., Пашин Н. А. Регулирование термомодеформационных циклов при сварке листовых конструкций с применением теплопоглотителей// Автоматическая сварка. – 1990. – № 9. – С. 39–46.

3. Гедрович А. И., Жидков А. Б. Применение теплоотводящих устройств для снижения сварочных деформаций и напряжений// Автоматическая сварка. – 2000. – № 2. – С. 45–49.
4. Касаткин Б. С., Прохоренко В. М., Чертов И. М. Напряжения и деформации при сварке. – Киев: Вищ. шк., 1987. – 246 с.
5. Лобанов Л. М. Технологические средства уменьшения деформаций и напряжений – Киев: Об-во «Знание», 1983. – 146 с.
6. Казимиров А. А., Недосека А. Я. Исследование различных условий теплоотвода при сварке пластин из АМг5В// Автоматическая сварка. – 1963. – № 7. – С. 51–58.
7. Прохоров Н. Н., Полуниин В. М. Расчётный анализ влияния местных стоков теплоты на снижение продольных деформаций при сварке пластин встык//Сварочное производство. –1992. – № 1. – С. 3–5.
8. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4 – х т. /Под ред. Н. А. Ольшанского. – М.: Машиностроение, 1978. – Т. 1. – 504 с.
9. Ищенко А. Я., Покляцкий А. Г., Лозовская А. В. и др. Влияние параметров низкочастотной модуляции разнополярного тока прямоугольной формы на структуру металла шва при сварке алюминиевых сплавов// Автоматическая сварка. – 1990. – № 9 –С. 23–27.
10. Патон Б. Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.
11. Ситников Б. В. Силовое воздействие импульсной дуги на свариваемый металл// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2004. – № 4 [10]. – С. 114–115.

### **INFLUENCE OF PARAMETERS OF MODE OF PULSEWISE-ARC WELDING ON DISTRIBUTING OF REMAINING TENSIONS IN CONNECTIONS OF ALLOY OF AMG6**

B. V. SITNIKOV, Cand. Tech. Scie.

*Resulted taking about influence of parameters of the mode of the pulsewise-arc welding a tungsten electrode in an argon on distributing of remaining tensions in butt connections of alloy of AMg6, which can be used for the choice of the optimum modes of welding, allowing to promote operating descriptions of weldments and their technologicalness.*

Поступила в редакцию 28.05 2012 г.