



УДК 621.791:669.71

ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКИ ВЫСОКОПРОЧНОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 2219

Академик НАН Украины С. И. КУЧУК-ЯЦЕНКО, П. Н. ЧВЕРТКО, канд. техн. наук, Л. А. СЕМЕНОВ,
С. М. САМОТРСЯСОВ, К. В. ГУЩИН, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Изучены особенности контактной стыковой сварки высокопрочного термически упрочняемого сплава 2219. Показано, что в сварных соединениях дефекты в виде оксидных плен, расслоений отсутствуют. Определены оптимальные условия нагрева зоны пластической деформации при осадке. Разупрочнение зоны термического влияния сварных соединений на 15... 20% практически полностью устраняется послесварочной термической обработкой (закалка с последующим искусственным старением). Предел прочности сварного соединения находится на уровне 93 ... 95 % прочности основного материала.

Ключевые слова: контактная стыковая сварка, высокопрочный алюминиевый сплав, нагрев, дефекты соединений, механические свойства, разупрочнение, термическая обработка соединений

В аэрокосмической промышленности для производства деталей и конструкций различного назначения, которые используются в летательных аппаратах, широкое применение нашли высокопрочные сплавы на основе алюминия. В частности, многие силовые элементы конструкций изготавливают из высокопрочного термически упрочняемого сплава 2219 системы легирования Al–Cu. Для их производства применяют различные способы сварки (дуговую, электронно-лучевую, контактную, трением и пр.), от которых существенным образом зависят эксплуатационные характеристики сварного соединения [1].

Одним из наиболее экономически и технически перспективных процессов изготовления прямолинейных и кольцевых заготовок из пресованных профилей является контактная стыковая сварка непрерывным оплавлением. Этот способ обеспечивает высокое стабильное качество соединений, объединяет в едином цикле сборочные и сварочные операции, не требует применения вспомогательных расходных материалов (электродов, проволоки, флюсов, защитных газов и т. д.) [2].

В этой связи представляют интерес исследования по оценке свариваемости высокопрочного алюминиевого сплава 2219 при контактной стыковой сварке непрерывным оплавлением, степень разупрочнения соединений и вероятности появления в них дефектов.

Исследования и разработку технологии контактной стыковой сварки оплавлением изделий из сплава 2219 (состав, мас. %: 6,45 Cu, 0,31 Mn, 0,14 Zr) проводили на образцах сечением 20×100 мм в состоянии Т851 (закалка, холодная деформация и искусственное старение). Учитывали, что

при контактной стыковой сварке непрерывным оплавлением изделий из сплавов на основе алюминия обычно применяют формирование соединения в процессе осадки (рис. 1). С учетом теплофизических свойств данного сплава и его толщины для достижения оптимального нагрева зоны пластической деформации при осадке использовали до начала непрерывного оплавления предварительный подогрев сопротивлением.

Высокая чувствительность сплава 2219 к термическим циклам потребовала проведения комплекса исследований для определения оптимальных параметров нагрева при сварке.

Оптимальные условия формирования сварного соединения при осадке создаются при условии равенства пределов текучести и прочности свариваемого материала в зоне деформации. В данном случае обеспечивается получение сварных соединений с минимальным уровнем внутренних напряжений при отсутствии микротрещин и других дефектов.

При контактной стыковой сварке с формированием зона интенсивной деформации практически

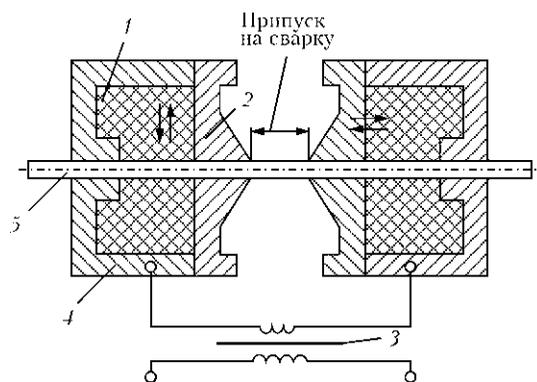


Рис. 1. Схема процесса контактной стыковой сварки непрерывным оплавлением: 1 — термоизоляционная вставка; 2 — формирующие ножи; 3 — сварочный трансформатор; 4 — токоподвод; 5 — деталь

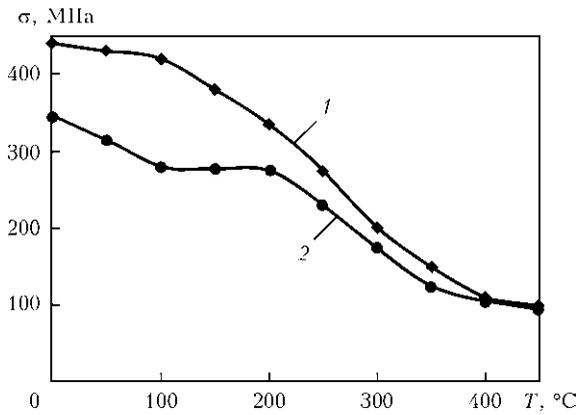


Рис. 2. Механические свойства сплава 2219 при повышенных температурах: 1 — σ_b ; 2 — σ_T

ки равна припуску на осадку. Для определения оптимального нагрева перед осадкой проведены исследования механических характеристик (пределов прочности σ_b и текучести σ_T) сплава 2219 при повышенных температурах (рис. 2).

Из рисунка видно, что оптимальные условия деформации создаются при температуре около 400 °С. Эти данные позволяют сделать вывод о том, что для получения качественных сварных соединений необходимо обеспечить нагрев приконтактной зоны на участке интенсивной деформации до температуры выше 400 °С.

С целью определения оптимального термического цикла контактной стыковой сварки проведены также исследования влияния температуры нагрева и времени выдержки при ней на механические свойства сплава.

Образцы основного металла нагревали в лабораторной сварочной машине сопротивлением до заданной температуры и выдерживали определенное время. После нагрева, выдержки при заданной температуре и охлаждения на воздухе проводили испытания образцов на растяжение (рис. 3).

Анализ полученных результатов испытаний показывает, что механические характеристики образцов в большой степени зависят от температуры нагрева и времени выдержки материала при этой температуре. Даже относительно кратковременная выдержка в течение 20...30 с при температуре от 400 до 450 °С приводит к снижению прочностных показателей на 15...25 %.

Такая высокая чувствительность сплава к нагреву требует применения максимально жестких режимов сварки, отличающихся минимальным временем нагрева. Такие режимы обеспечивают получение качественных сварных соединений (практически без разупрочнения) только для малых толщин (до 12 мм). При сварке больших толщин на этих режимах не обеспечивается необходимый нагрев, что приводит не только к возникновению дефектов в сварном соединении и металле ЗТВ (в частности, не достигается требу-

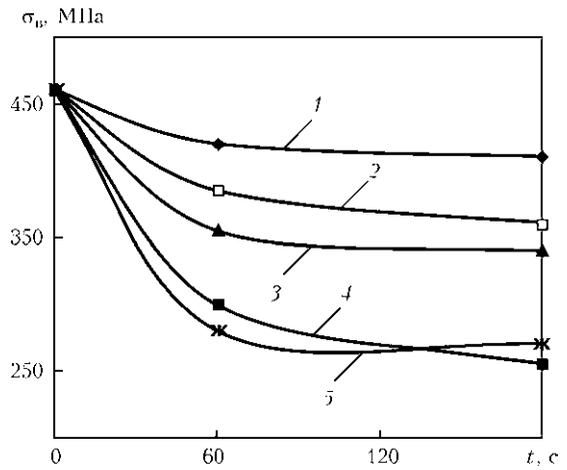


Рис. 3. Зависимость предела прочности от температуры нагрева и выдержки при ней: 1 — 250; 2 — 300; 3 — 350; 4 — 400; 5 — 450 °С

емая деформация при осадке, повышается вероятность образования оксидных плен), но и к снижению прочностных показателей на 20...30 %. Во избежание возникновения упомянутых дефектов при сварке требуется увеличение времени нагрева, что приводит к более высокому разупрочнению металла шва и ЗТВ.

В таких случаях для повышения прочности сварного соединения необходимо применение послесварочной термической обработки.

Сварку выполняли на лабораторной контактной стыковой машине с переоборудованным вторичным контуром мощностью 75 кВ·А на следующих режимах: напряжение оплавления $U_{2опл} = 6,5...8,0$ В; начальная скорость оплавления 2 мм/с; конечная — 16,0 мм/с; время сварки $t_{св}$ — до 60 с, из них оплавления $t_{опл}$ — до 15,0 с. Общий

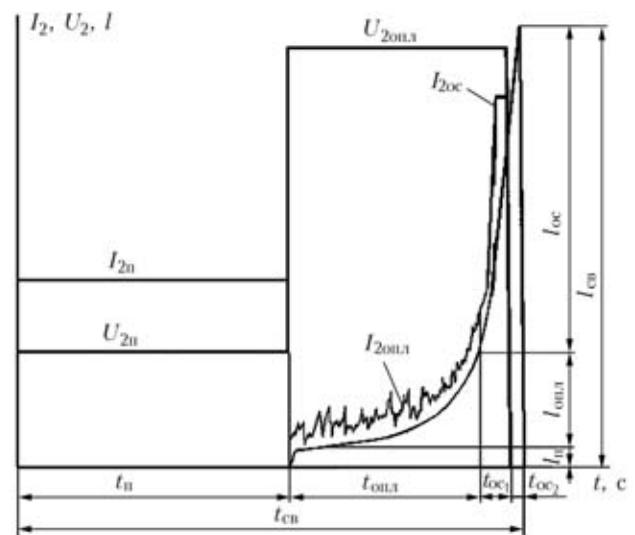


Рис. 4. Циклограмма процесса сварки оплавлением с предварительным подогревом ($I_{2п}$, $I_{2опл}$, $I_{2ос}$ — ток сварочной цепи подогрева, оплавления и осадки; $U_{2п}$, $U_{2опл}$ — напряжение сварочной цепи подогрева и оплавления; $l_{св}$, $l_{п}$, $l_{опл}$, $l_{ос}$ — припуски на сварку, подогрев, оплавление и осадку; $t_{св}$, $t_{п}$, $t_{опл}$, $t_{ос}$ — время сварки, подогрева, оплавления и осадки)

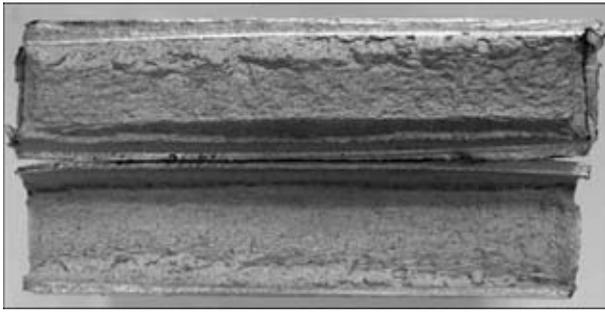


Рис. 5. Внешний вид изломов сварных образцов с надрезом по линии соединения

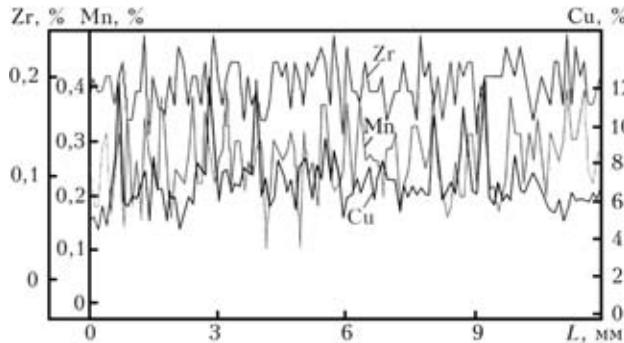


Рис. 6. Распределение легирующих элементов в сварном соединении (ЗТВ основного металла – стык – ЗТВ основного металла)

Результаты механических испытаний на растяжение основного металла, сварных соединений до и после термообработки

Образец	Механические свойства			
	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %
Основной металл	339	430,5	11,2	21
Сварное соединение	200...214 208	347,4...350,8 350	4,7...5,8 5,2	13...17 14
Сварное соединение после термообработки	266...297 278	380...422 402	4,7...8,4 6,4	5,2...15,6 8,6

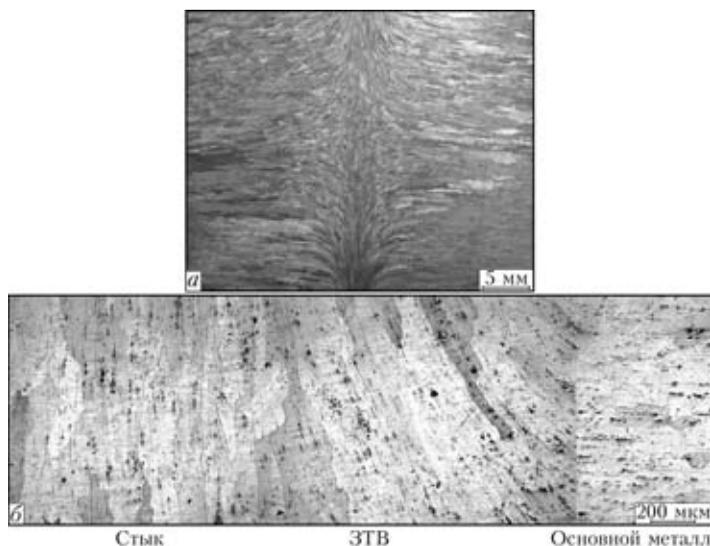


Рис. 8. Макроструктура (а) и микроструктура (б) сварного соединения после термической обработки

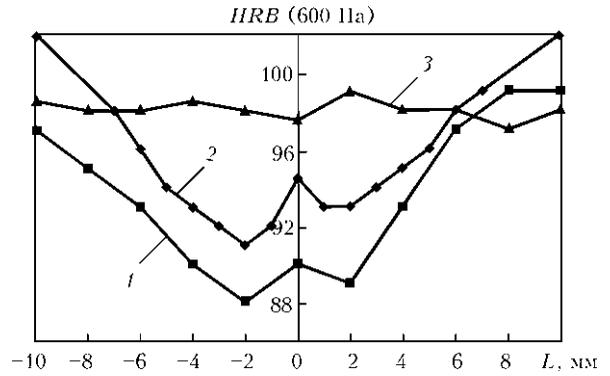


Рис. 7. Распределение твердости в сварном соединении после сварки (1), старения (2) и термической обработки (3)

припуск на сварку $l_{св} = 60$ мм. Циклограмма процесса приведена на рис. 4.

После сварки часть образцов была термически обработана по режиму: закалка (нагрев до 535 °С, выдержка при данной температуре 2 ч, охлаждение в воду) с последующим искусственным старением (нагрев до 180 °С, выдержка при данной температуре 24 ч).

На изломах сварных образцов с надрезом по линии соединения дефекты отсутствуют (рис. 5).

Механические испытания на растяжение основного металла, сварных соединений до и после термообработки проведены на плоских образцах. Результаты испытаний приведены в таблице.

При контактной стыковой сварке сплава 2219 существенного перераспределения основных легирующих элементов по линии соединения и в металле ЗТВ не наблюдается. В большинстве сварных соединений содержание легирующих элементов практически такое же, как и в основном металле (рис. 6).

Как показали замеры твердости по шкале Роквелла, протяженность ЗТВ составляет

20...25 мм. После сварки в зоне соединения наблюдается довольно значительное снижение твердости (рис. 7, кривая 1), что косвенно свидетельствует о разупрочнении этой зоны. Проведенное искусственное старение позволило повысить твердость шва и металла ЗТВ, но при этом симметрично относительно линии соединения сохраняются участки отжига (рис. 7, кривая 2). Проведение послесварочной термической обработки по приведенным выше режимам позволяет получить распределение твердости в металле ЗТВ, близкое к ее распределению в основном металле (рис. 7, кривая 3).

Проведенные металлографические исследования показали, что в сварном соединении полностью отсутствуют такие дефекты, как оксидные пленки, расслоения и пр. (рис. 8, а). Микроструктура основного металла со-



держит ориентированные различной величины зерна твердого раствора меди в алюминии. В структуре сплава также имеются промежуточные фазы, образовавшиеся в процессе термической обработки (рис. 8, б).

Направление зерен металла шва и близлежащих участков ЗТВ постепенно изменяется на 90° по отношению к исходному направлению зерен основного металла и совпадает с направлением деформации металла в процессе осадки. Расположение интерметаллидных фаз также ориентируется в направлении истечения металла при осадке.

Выводы

1. В сварных соединениях сплава 2219, выполненных контактной стыковой сваркой, дефекты в виде оксидных плен, расслоений и т. д. отсутствуют.
2. Минимальная температура зоны деформации сплава 2219 должна быть около 400 °С. Крат-

ковременный нагрев до этой температуры в течение 20...30 с приводит к снижению прочностных характеристик на 15...25 %.

3. В металле ЗТВ сварных соединений наблюдается снижение твердости, сопровождаемое разупрочнением на 15...20 %.

4. Старение повышает твердость шва и металла ЗТВ, но при этом сохраняются участки разупрочнения.

5. Послесварочная термическая обработка (закалка с последующим искусственным старением) позволяет приблизить распределение твердости к ее распределению в основном металле и обеспечить прочность на уровне 93...95 %.

1. *Промышленные* алюминиевые сплавы: Справочник / Под ред. Ф. И. Квасова, И. Н. Фридляндера. — М.: Металлургия, 1984. — 528 с.
2. *Кучук-Яценко С. И.* Контактная стыковая сварка оплавлением. — Киев: Наук. думка, 1992. — 236 с.

Peculiarities of flash butt welding of high-strength heat-hardening alloy 2219 were investigated. It is shown that the welded joints have no defects of the type of oxide films and delaminations. Optimal conditions for heating of the plastic deformation zone in upsetting were determined. A 15...20 % weakening of the heat-affected zone in the welded joints can be fully eliminated by postweld heat treatment (hardening with subsequent artificial ageing). Tensile strength of the welded joint is at a level of 93...95 % of that of the base metal.

Поступила в редакцию 26.10.2009

Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник. — К.: Основа, 2010. — 240 с.

Данное пособие — первая попытка обобщения в отечественной сварочной науке вопросов охраны труда сварщиков. В ней представлены следующие разделы: вредные и опасные факторы сварочного процесса; гигиена труда в сварочном производстве; производственная санитария; безопасность сварочного производства; средства индивидуальной защиты. Приведен перечень стандартов и нормативных документов по охране труда в сварочном производстве, а также список использованной литературы.

Основное внимание в книге уделено проблемам защиты рабочих от вредных и опасных последствий сварочного процесса в соответствии с международными стандартами, которые начинают внедряться в Украине. Рассмотрены вопросы минимизации воздействия на организм сварщиков вредных веществ, образующихся в результате сварочного процесса; защиты от магнитных полей, создаваемых сварочным оборудованием; применения современных средств местной вентиляции и индивидуальной защиты сварщиков.

Предназначено для инженерно-технических работников сварочного производства, специалистов по охране труда, безопасности жизнедеятельности и экологии, а также аспирантов, студентов, магистров высших учебных заведений с подготовкой специалистов по сварке и родственным технологиям.



Книгу можно приобрести в издательстве «Основа» по адресу: 01032, г. Киев-32, ул. Жилинская, 87/30; тел./факс: 239-38-95, 239-38-96