

УДК 621.791.75-034.7
DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-8-135-139

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РЕЖИМА СВАРКИ СМТ (COLD METAL TRANSFER) МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ ЛЕГКИХ СПЛАВОВ

Н.А. Рагрин, Ж.Ш. Белекова

Аннотация. Сварка с малой теплотой (СМТ сварка) является одной из самых прогрессивных технологий автоматической дуговой сварки плавящимся электродом в среде инертных газов. Технология СМТ сварки позволяет устранить большинство дефектов сварки алюминиевых сплавов марок 5083 и 6082, широко применяющихся для изготовления тонкостенных труб. Разработан режим СМТ сварки мелкозернистых легких сплавов. Определены основной режим и дефект СМТ сварки, влияющий на качество сварного шва, а также зависимость прочности сварного шва от основного режима СМТ сварки, разработана математическая модель, отражающая зависимость показателей качества сварного шва от режима и дефекта СМТ сварки.

Ключевые слова: алюминий; сплав; скорость подачи; дефекты; поры; предел прочности.

СМТ (COLD METAL TRANSFER) МАЙДА БҮРТҮКЧӨЛҮҮ ЖЕҢИЛ ЭРИТМЕЛЕРДИ ШИРЕТҮҮ РЕЖИМИН ИЗИЛДӨӨ ЖАНА ИШТЕП ЧЫГУУ

Н.А. Рагрин, Ж.Ш. Белекова

Аннотация. Аз жылуулук менен ширетүү (СМТ ширетүү) инерттүү газ чөйрөсүндө эриген электрод менен автоматтык жаа ширетүү технологиясынын эң алдыңкы ыкмаларынын бири болуп эсептелет. СМТ ширетүү технологиясы 5083 жана 6082 маркаларындагы алюминий эритмелеринин ширетүүчү кемчиликтеринин көпчүлүгүн четтетүүгө мүмкүндүк берет жана капталдары ичке түтүктөрдү өндүрүү үчүн кеңири колдонулат. Майда бүртүкчөлүү жеңил эритмелерди СМТ ширетүү режими иштелип чыккан. Ширетүүнүн сапатына таасир этүүчү негизги режим жана СМТ ширетүү кемтиги аныкталды, ширетүүнүн бекемдигинин СМТ ширетүүнүн негизги режиминен көз карандылыгы аныкталды, ширетүүнүн сапаттык көрсөткүчтөрүнүн ширетүүнүн СМТ режимине жана дефектине көз карандылыгын чагылдырган математикалык модель иштелип чыкты.

Түйүндүү сөздөр: алюминий; эритме; берүү ылдамдыгы; кемчиликтер; тешикчелер; бекемдик чеги.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF CMT WELDING MODE (COLD METAL TRANSFER) OF FINE GRAIN LIGHT ALLOYS

N.A. Ragrin, Zh.Sh. Belekova

Abstract. Low heat welding (CMT welding) is one of the most advanced technologies for automatic consumable electrode arc welding in an inert gas environment. CMT welding technology eliminates most of the welding defects of aluminum alloys. Aluminum alloys of grades 5083 and 6082 are widely used for the manufacture of thin-walled pipes, but so far there have been no studies related to the use of CMT welding technology for these materials. Therefore, the purpose of the work: the development of the SMT mode for welding fine-grained light alloys is a rather urgent problem. The following tasks were solved in the work: to determine the main mode and defect of SMT welding, affecting the quality of the weld, to determine the dependence of the strength of the weld on the main mode of SMT welding, to develop a mathematical model reflecting the dependence of the quality indicators of the weld on the mode and defect of SMT welding.

Keywords: aluminum; alloy; feed rate; defects, pores; tensile strength.

Сварка с малой теплотой (СМТ сварка) является одной из самых прогрессивных технологий автоматической дуговой сварки плавящимся электродом в среде инертных газов. Технология СМТ позволяет устранить большинство дефектов сварки алюминиевых сплавов. Алюминиевые сплавы марок 5083 (Al-Mg) и 6082 (Al-Mg-Si) широко применяются для изготовления тонкостенных труб, однако до настоящего времени не было проведено исследований, связанных с применением технологии СМТ сварки для их изготовления. Поэтому цель работы – разработка режима СМТ сварки мелкозернистых легких сплавов. Решались следующие задачи исследований:

1. Определить основной режим и дефект СМТ сварки, влияющие на качество сварного шва.
2. Определить зависимость прочности сварного шва от основного параметра режима СМТ сварки.
3. Разработать математическую модель, отражающую зависимость показателей качества сварного шва от режима и дефекта СМТ сварки.

С целью решения поставленных задач были проведены предварительные исследования влияния условий сварки алюминиевых сплавов на качество сварных швов. Применялся автоматический варочный аппарат компании Fronius с цифровым управлением и встроенной подачей проволоки (рисунок 1).

Сваривали листы алюминиевых сплавов марок 6082 и 5083, толщиной 2 мм сварочной проволокой диаметром 1,2 и 1,6 мм из алюминиевых сплавов 5087 и 5183 в среде нейтральных газов, состоящих из чистого аргона (Ar) и смеси аргона и гелия (Ar/He). После сварки вырезали заготовки для испытания на растяжение с целью определения характеристик прочности сварного шва. На специальной полировочной установке (рисунок 2) изготавливали микрошлифы сварных швов, которые анализировали с применением светового микроскопа (рисунок 3).

Макродефекты сварных швов (непровар, прожог, горячие трещины) оценивали визуально, для определения микродефектов (пористость, форма сварного шва) выполняли микрошлифы. Прочность

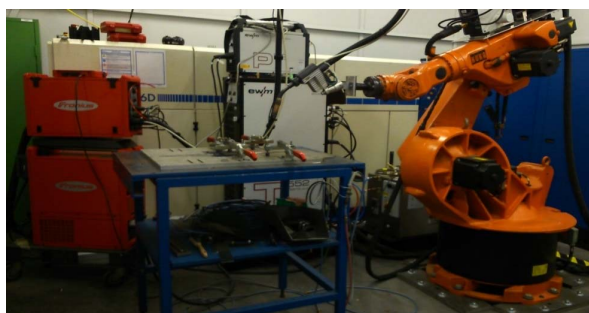


Рисунок 1 – Сварочное оборудование СМТ



Рисунок 2 – Полировочная установка



Рисунок 3 – Световой микроскоп

сварного шва оценивали пределом прочности, относительным удлинением и пределом текучести. Макродефекты оценивали на стадии предварительных испытаний, в результате которых определены параметры режима и условия сварки, на которых макродефекты отсутствуют.

Предварительные испытания позволили определить режимы и условия СМТ сварки, позволяющие получить более высокое качество сварного шва:

- свариваемый материал – алюминиевый сплав марки 5083;
- инертный газ – смесь инертных газов Ar/He;
- диаметр сварочной проволоки – 1,2 мм;
- материал сварочной проволоки – алюминиевый сплав марки 5087;
- скорость сварки 0,4 м/мин;
- скорость подачи проволоки в пределах от 3,5 до 5,0 м/мин.

Используя выбранные режимы и условия СМТ сварки, был построен график зависимости предела прочности сварного шва от скорости подачи проволоки (рисунок 4).

Аппроксимация графика (рисунок 4) позволила получить зависимость [1]:

$$y_B = 107,0625V^{2,1707}e^{-0,5258V}. \quad (1)$$

При проведении предварительных исследований большинство дефектов сварных швов были устранены. Остались поры, устранить которые в полной мере не представляется возможным ввиду наличия в сварочной ванне газов водорода и азота. На рисунках 5–8 представлены микрошлифы сварных швов, полученные на скоростях подачи проволоки, принятых при построении графика, представленного на рисунке 4.

В таблице 1 показаны характеристики прочности сварных швов, и соответствующие им число пор, полученные экспериментальным путем [2].

Графические выражения зависимостей характеристик прочности от числа пор представлены на рисунках 9–11.

Кривые графиков зависимостей характеристик прочности сварных швов от числа пор, представленных на рисунках 9–11, являются статистическими зависимостями, полученными усреднением нескольких измерений в каждой точке, поэтому аппроксимацию этих зависимостей проводили методом наименьших квадратов [3].

В результате регрессионного анализа определяли коэффициенты регрессии трех статистических зависимостей: прямой, степенной и экспоненциальной. Затем рассчитывали коэффициент корреляции каждой из них, и методом сравнительного анализа определяли зависимости, наиболее адекватные результатам исследований. Это линейная зависимость (2) для предела прочности, степенная зависимость

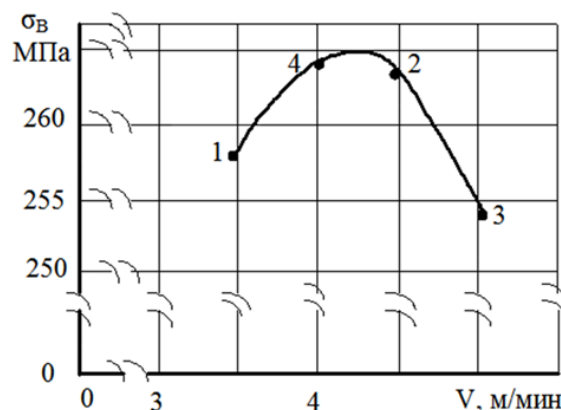


Рисунок 4 – Зависимость предела прочности от скорости подачи проволоки



Рисунок 5 – Микрошлиф сварного шва,
V = 3,5 м/мин



Рисунок 6 – Микрошлиф сварного шва,
V = 4 м/мин

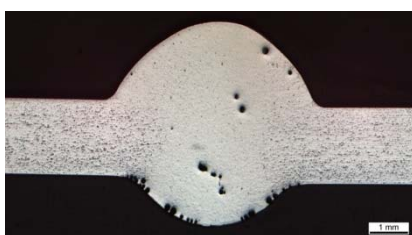


Рисунок 7 – Микрошлиф шва,
V = 4,5 м/мин



Рисунок 8 – Микрошлиф сварного сварного шва,
V = 5 м/мин

Таблица 1 – Характеристики прочности сварных швов и соответствующее им число пор

№	U_B , МПа	Δl , %	U_T , МПа	Д, шт.
1	253	14,08	129	16
2	242	13,28	124	28
3	258	13,22	131	20
4	274	15,71	138	9
5	216	12,23	120	37
6	250	14,5	125	15

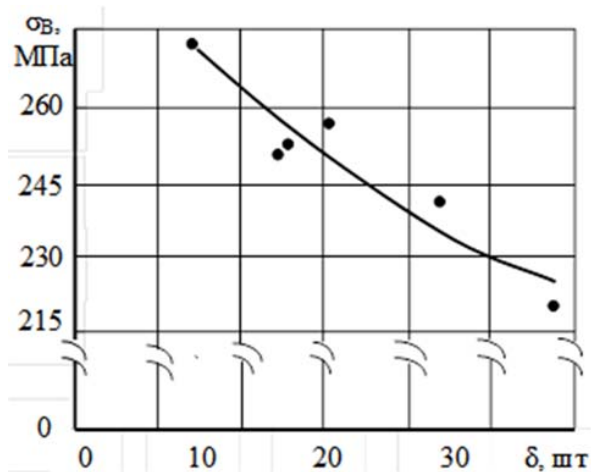


Рисунок 9 – Зависимость предела прочности от числа пор

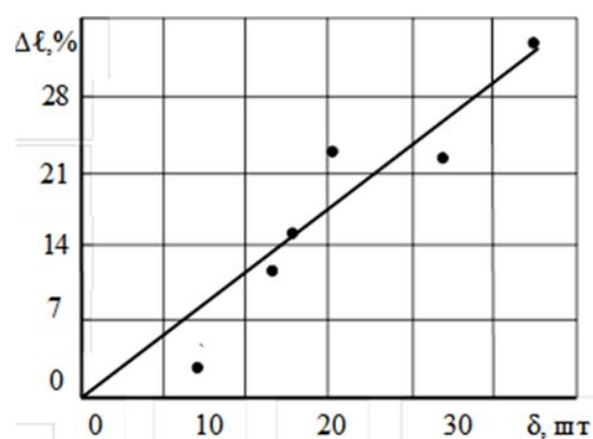


Рисунок 10 – Зависимость относительного удлинения от числа пор

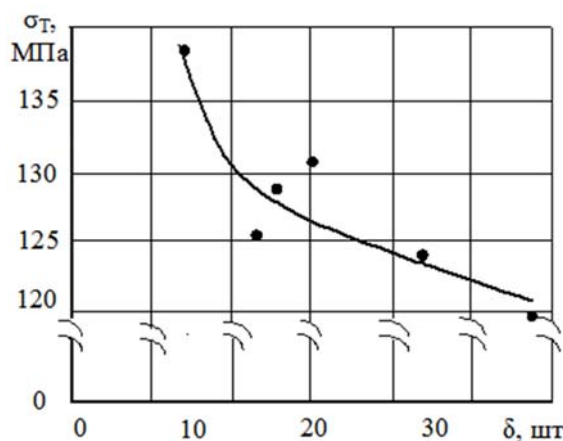


Рисунок 11 – Зависимость предела текучести от числа пор

(3) для относительного удлинения и экспоненциальная зависимость (4) для предела текучести [4], и полученная ранее зависимость (1), которые представляют математическую модель, отражающую характер влияния параметра режима и дефекта СМТ сварки на качество сварного шва.

$$y_B = 107,0625V^{2,1707}e^{-0,5258V}, \quad (1)$$

$$y_B = 286,042 - 1,786\delta, \quad (2)$$

$$\Delta\ell = 22,5315 \delta^{-0,168} \quad (3)$$

$$y_T = 164,8\delta^{-0,0865}. \quad (4)$$

Данная математическая модель получена экспериментальным путем и с высокой точностью позволяет рассчитать характеристики прочности сварных швов в зависимости от скорости подачи проволоки и числа пор.

Выводы. Режимом СМТ сварки, в большей степени влияющим на качество сварного шва, является скорость подачи проволоки; основным дефектом, влияющим на качество сварного шва, является число пор. Экспериментально определена зависимость прочности сварного шва от скорости подачи проволоки. Разработана математическая модель, отражающая зависимость показателей прочности сварного шва от скорости подачи проволоки и числа пор.

Поступила: 19.04.22; рецензирована: 03.05.22; принята: 06.05.22.

Литература

1. Рагрин Н.А. Методы повышения качества сварки алюминиевых сплавов / Н.А. Рагрин, Ж.Ш. Белекова // Сварочное производство. М.: Технология машиностроения. 2020. № 10. С. 55–60.
2. Рагрин Н.А. Закономерности влияния пористости швов на качество сварных соединений алюминиевых сплавов / Н.А. Рагрин, Ж.Ш. Белекова // Сварочное производство. М.: Технология машиностроения. 2021. № 2. С. 24–31.
3. Белекова Ж.Ш. Повышение качества СМТ сварки алюминиевых сплавов / Ж.Ш. Белекова, Н.А. Рагрин // Известия КГТУ. Бишкек, 2021. № 2(58). С. 25–31.
4. Рагрин Н.А. Разработка математической модели определения прочности сварных швов алюминиевых сплавов / Н.А. Рагрин, Ж.Ш. Белекова // Сварочное производство. М.: Технология машиностроения. 2021. № 9. С. 14–21.