

УДК 621.791:669

РАЗВИТИЕ СВАРКИ В ИНЕРТНЫХ ГАЗАХ (Обзор)

А. П. ЛИТВИНОВ, канд. техн. наук (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Рассмотрена история возникновения и развитие дуговой сварки в инертных газах. Ее появление основано на опыте применения атомно-водородной сварки и сварки под флюсом. Первые способы сварки ТИГ и МИГ созданы в начале 1940-х годов и были применены при изготовлении алюминиевых конструкций. В последующие годы были разработаны методы управления переносом металла в сварочную ванну, созданы различные технологии сварки цветных металлов и сплавов.

Ключевые слова: сварочное производство, дуговая сварка, сварка в инертных газах, импульсно-дуговая сварка, специальная сталь, алюминиевый сплав, титановый сплав, сварка ТИГ, сварка МИГ, авиаракетостроение, история техники

В настоящее время дуговая сварка в инертных газах является одним из самых распространенных способов соединения металлов и сплавов и применяется в производстве ответственных инженерных конструкций, эксплуатируемых в экстремальных условиях. Научные исследования, технология, промышленное применение и оборудование описаны в десятках монографий, в том числе в работах, обобщающих многолетние результаты внедрения в ведущие отрасли промышленности [1–6]. Однако до сегодня не определены истоки создания этого процесса, не указаны авторы первых изобретений, разработка которых привела к современным процессам ТИГ и МИГ, не проанализированы этапы развития данного способа.

Целью настоящей работы является исследование зарождения и эволюции основных способов сварки неплавящимся и плавящимся электродом в инертных газах.

1960–1970-е годы, характеризующиеся созданием основ атомной энергетики, ракетно-космической техники, успехами химического производства, сверхзвуковой авиации, вызвали потребность в разработке новых конструкционных материалов для изделий, эксплуатируемых в экстремальных условиях: сверхвысоких и сверхнизких температурах, высоких механических нагрузках, агрессивной среде и радиоактивном облучении. Это в свою очередь потребовало создания технологии надежного соединения новейших жаропрочных и криогенных сплавов на основе железа, алюминия, титана, циркония, тантала, ниобия, ванадия, гафния и др. Решение этой задачи предполагало использование для защиты зоны

сварки инертные газы (аргон, гелий, неон, криптон, ксенон и радон), которые практически не вступают в реакцию с металлами независимо от температуры последних, не растворимы в большинстве металлов.

Использовать для защиты зоны сварки инертный газ предлагали еще в начале XX в. В частности, в 1918 г. на такую идею был выдан патент США № 1589017 Дж. Линкольну. В 1919 г. Г. Х. Хобарт из фирмы «Дженерал электрик» предложил применить в качестве защитного газа гелий [7], в 1926 г. патенты на способы «Гелиарк» и «Аргонарк» были выданы Ф. К. Дьюерсу [8], однако достичь удовлетворительного качества металла шва не удалось. В то же время в фирме «Дженерал электрик» И. Ленгмюром была создана атомно-водородная сварка и П. Александер продолжал ее совершенствовать, используя горючие и активные газы [7, 9]. Развитие авиации начало предъявлять все более высокие требования к качеству сварных соединений. Возникла острая необходимость в реализации идей защиты инертными газами. Вскоре удовлетворительную горелку для ручной сварки сконструировали Г. Хобарт и П. К. Деверс [10]. В середине 1930-х годов к совершенствованию технологии сварки вольфрамовым электродом в аргоне (ТИГ) приступила фирма «Бернард велдинг эквипмент» [11]. В 1935 г. П. Александер в лабораторных условиях добился хорошей защиты сварочной ванны инертным газом [12, 13]. В Германии, как и в ряде других стран, где широко применяли атомно-водородную сварку, были попытки при той же схеме сварки заменить водород на гелий (1938 г.) и аргон (1941 г.), однако была ли создана приемлемая для практики технология, неизвестно [14].

Специалисты фирмы «Доу кемикел К^о» (США) пытались решить проблему сварки алюминиевых и магниевых сплавов, применив дуговую сварку плавящимся электродом в аргоне (МИГ), но исключить прожоги не удалось. В конце 1941 г.



Р. Мередит (фирма «Нортрон эйкрафт») разработал технологию сварки ТИГ в аргоне на постоянном токе обратной полярности, а затем и переменным током от трансформатора промышленной частоты с высокочастотной приставкой (патент США № 2274631 от 24.02.1942 г.). В 1942 г. Т. Р. Пайпер, В. Х. Павлек и Р. Мередит («Нортрон эйкрафт») разработали технологию сварки вольфрамовым электродом в гелии [15]. В начале 1940-х годов сваркой в инертных газах заинтересовались и в Великобритании (В. С. Деверс, Дж. Р. Хэндфорт) [16]. Первым результатом работы Британской сварочной исследовательской ассоциации было внедрение сварки МИГ при строительстве алюминиевого парохода «Квин Элизабет» под руководством П. Т. Хоулдрокфта [17].

В 1948 г. в СССР в Научно-исследовательском институте авиационных технологий (НИАТ) А. Я. Бродский, А. В. Петров и другие разработали процессы сварки ТИГ и МИГ. С целью снижения стоимости технологий были проведены эксперименты по сварке алюминиевых и магниевых сплавов в техническом аргоне и нержавеющей и жаропрочных сталей в аргоно-азотной смеси [18, 19]. Однако к началу 1950-х годов технология сварки в инертных газах изделий из алюминиевых сплавов толщиной более 10 мм достаточного качества не обеспечивала. Более эффективным оказался способ автоматической дуговой сварки по флюсу, разработанный в 1951 г. в ИЭС им. Е. О. Патона (Д. М. Рабкин) [20]. В США прошла дискуссия о возможности широкого применения сварки ТИГ, отмечалось отсутствие разбрызгивания, отказ от активных фтор- и хлорсодержащих флюсов, доступность для обозрения зоны плавления [21]. К концу 1950-х годов сварку ТИГ уже применяли в СССР, США и ряде других стран при изготовлении конструкций из высоколегированных сталей, инконеля, монеля, меди, алюминия и их сплавов [1–3, 22].

Проблема разбрызгивания возникла при замене неплавящегося вольфрамового электрода на плавящийся. Удовлетворительная технология сварки плавящимся электродом в инертном газе — сварка МИГ была разработана в фирме «Эйр редакшн», Нью-Джерси (патент США № 2504688 от 06.04.1950 г.). Была разработана также технология сварки плавящимся электродом соединений небольшой толщины [23]. В 1950-х годах развернулись исследования, направленные на решение проблем разбрызгивания при плавлении электродной проволоки. Была установлена зависимость видов плавления и переноса электродного металла от параметров режима сварки: «струйный» и «переходный, критический» и «крупнокапельный». При сравнительно высокой плотности тока струйный перенос отличается достаточной стабиль-

ностью, однако при этом сварку металла малых толщин трудно выполнить без прожогов. При снижении тока ниже критического возникал крупнокапельный перенос, сопровождавшийся разбрызгиванием [24]. Решались также задачи управления плавлением основного металла и формирования качества металла шва, расширения диапазона свариваемых материалов и толщин, а также способов соединений [25–27]. В конце 1950-х годов в ИЭС им. Е. О. Патона была реализована идея управления плавлением и уменьшения разбрызгивания электродного металла при питании процесса высокоамперными импульсами сварочного тока, использован опыт исследований импульсного зажигания дуги, накопленный Б. Е. Патонем при совершенствовании сварочных трансформаторов и создании устройств модулирования тока [28].

Возможность управления плавлением и переносом электродного металла, а также другими характеристиками достигнута регулированием процесса параметрами импульсов тока или изменением мгновенной мощности. В НИАТ в 1960 г. А. В. Петровым и Г. А. Славным для выполнения импульсно-дуговой сварки были разработаны приставки к стандартным источникам питания и специальные источники, обеспечивающие стабильное течение процесса, при котором в промежутках между импульсами поддерживается дежурная маломощная дуга (А. с. 663956 СССР).

Темпы развития дуговой сварки в инертных газах в течение 1960-х годов были выше темпов развития других способов соединения. Велся интенсивный поиск технологий изготовления сложных инженерных конструкций из новых сплавов, повышения производительности процессов, коэффициента плавления, расширения диапазона свариваемых толщин. К середине десятилетия промышленность получила технологию сварки цветных металлов и нержавеющей сталей толщиной от менее 1 мм до десятков миллиметров; механизированную сварку в различных пространственных положениях. Были разработаны приставки к стандартным источникам питания и специальные источники, обеспечивающие стабильное течение процесса, при котором в промежутках между импульсами поддерживается дежурная дуга. Были созданы источники питания и технология сварки переменным током с наложением импульсов или группы импульсов различных параметров; регулированием параметров импульсов тока, напряжения или изменения мгновенной мощности по определенной программе или с автокоррекцией (Б. Е. Патон, А. Г. Потапьевский, П. П. Шейко, А. А. Алов, А. В. Петров, Г. А. Славин и др.) [29–34]. Аналогичные процессы были разработаны и в США, Великобритании, Японии, Германии, Италии и ряде других стран [35–37]. Для управ-



ления переносом электродного металла и стабилизации процесса сварки МИГ применили высокую частоту модуляции тока (более 25 с^{-1}). Инфранизкая частота модуляции (до 2 с^{-1}) в сочетании с вариацией амплитудного значения тока и формы импульсов тока позволила в более широких пределах управлять проплавляющей способностью дуги, термическим циклом сварки и формированием шва [38, 39].

Для увеличения тепловложения и повышения производительности сварки МИГ сразу несколькими исследователями была предложена технология сварки «разогретой проволокой» — за счет тепла тока, проходящего через электродную проволоку от отдельного источника или за счет сварочного тока при значительном удалении токоподвода от конца электрода. При дальнейшем развитии этого приема (поступление в зону сварки дополнительного тепла) в 1970-х годах в ИЭС им. Е. О. Патона К. А. Ющенко исследована свариваемость и разработаны технологии автоматической сварки высокопрочной хладостойкой стали: МИГ с подогретым электродом и ТИГ с присадкой; были выполнены кольцевые и продольные швы, равнопрочные основному металлу [40]. Способ сварки ТИГ обеспечивал более стабильные параметры соединения, точное поддержание глубины проплавления, возможность сварки заготовок различной толщины, а сварка МИГ характеризовалась более высокими рабочими скоростями.

Усовершенствование технологий управления плавлением электродных материалов и ванны продолжались и в последующие годы. Разработаны также процессы сварки ТИГ с использованием импульсного тока. Так, например, предложено уменьшать отношение тока в импульсе к току в паузе по мере повышения теплопроводности металла [41]. В ИЭС им. Е. О. Патона была разработана технология улучшения формирования, структуры и прочностных свойств сварного соединения путем применения двусторонней сварки и поперечного колебания неплавящегося электрода [42, 43]. Поперечные колебания дуги позволили уменьшить дендритную неоднородность металла шва и зону термического влияния. В 1959 г. в ЦНИИТмаш была предложена сварка автоопрессовкой, при которой после выполнения стыкового шва неплавящимся электродом без присадки шов усиливают многократным прогревом стыка такой же дугой, но при меньшей погонной энергии.

Несмотря на то что сварку в инертных газах оценили прежде всего за упрощение проблем с металлургическими процессами, неизбежными при сварке под флюсами и в активных газах, одним из направлений исследований стал поиск методов металлургического воздействия на ванну. Сформировалось три направления: введение в зо-

ну сварки активных газов; применение флюсов и паст; применение присадочных и электродных проволок с дополнительными составами. Одновременно эти же технологические приемы использовали и для управления физическими процессами в зоне сварки — плавлением электрода и формированием ванны. При сварке МИГ добавление в аргон кислорода и углекислого газа при сварке углеродистых и некоторых легированных сталей повышает плотность металла шва. А. В. Петровым (НИАТ) разработана система двухструйной защиты при сварке ТИГ: аргон подается через внутреннее сопло и омывает вольфрамовый электрод, углекислый газ — через наружное сопло. Для сварки изделий из высокоактивных металлов толщиной менее 1 мм в НИАТ была разработана смесь аргона с 5...10 % водорода, что позволило воздействовать на ход металлургических процессов [2, 34]. Разработаны технологии сварки стальных конструкций в смеси аргона с 1...2 % кислорода при струйном переносе электродного металла. Корпорация «Юнион карбайд» установила возможность применять при сварке стали смесь из 75 % аргона и 25 % оксида углерода. Для сварки алюминиевых сплавов предложена смесь Ar(He) с «легирующим газом» NO, O₂ или CO₂ [44]. Для управления металлургическими процессами было предложено введение в зону плавления небольшого количества многокомпонентных добавок легкоионизируемых и поверхностно-активных веществ, в частности, в каналах металлической проволоки [45].

В 1960-х годах сварка в инертных газах развивалась еще в одном направлении — повышение проплавляющей способности процесса. Были предложены способы, основанные на сокращении размеров активного пятна на поверхности изделия при действии деионизирующих веществ; сжатии столба дуги (плазменно-дуговая сварка); приближении электрода к поверхности или погружении его в сварочную ванну (сварка погруженной дугой) и повышении концентрации энергии дуги при увеличении внешнего давления.

В 1960 г. О. А. Маслюков, А. Н. Тимошенко (НИАТ) установили, что при сварке МИГ титана под бескислородными фторидно-хлоридными флюсами повышается плотность шва (А. с. 183303, 183305 СССР). Значительный объем приоритетных исследований был выполнен в ИЭС им. Е. О. Патона. Установлено, что при аргонодуговой сварке рафинированной высокопрочной стали, выплавленной способами спецэлектрметаллургии, наблюдается увеличение радиуса анодного пятна [46]. Для сжатия анодного пятна и повышения плотности тока предложено вводить в защитный газ кислород, который служит поверхностно-активным компонентом, способствует увеличению жидкотекучести ванны и уменьше-



нию критического тока мелкокапельного переноса, улучшению формирования шва [32]. В ИЭС им. Е. О. Патона был разработан процесс сварки ТИГ по слою бескислородных флюсов и паст с галоидными солями щелочных металлов, которые уменьшают размер активного пятна [47]. Увеличение плотности тока в анодном пятне объяснялось снижением проводимости периферийной области дуги парами фторидов, уменьшением размеров катодной области, а также увеличением скорости плазменных потоков в дуге и давления дуги на анод, в результате чего концентрируется тепловой поток, погонная энергия снижается [47–51]. Эти особенности процесса были использованы при сварке конструкций из молибдена, ниобия, специальных легированных сталей в ракетостроении, атомной энергетике и др. Сварка, получившая название А-ТИГ, признана одной из самых перспективных и находит применение в странах Европы, Азии, Америки [52–55].

Способ сварки вольфрамовым электродом со сжатием столба дуги в канале сопла малого диаметра, предложенный в 1957 г. Р. Гейджем, получил название плазменной сварки [56]. Управление тепловым и динамическим напором плазменно-газового потока позволило расширить диапазон свариваемых толщин, в том числе и в сторону уменьшения до долей миллиметра (микроплазменная сварка) [57, 58]. На основе этой идеи в начале 1960-х годов НИАТ, ИЭС им. Е. О. Патона и другими организациями был разработан ряд приемов увеличения производительности сварки вольфрамовым электродом. Этот способ сварки ТИГ оказался наиболее перспективным для изготовления алюминиевых конструкций ответственного назначения, применяется при различных импульсах сварочного тока и способах подачи присадочной проволоки [59].

Для соединения титановых сплавов большой толщины эффективной оказалась сварка погруженной дугой, при которой конец вольфрамового электрода находится ниже поверхности свариваемых деталей, дуговой промежуток сводится к минимуму [60, 61]. Повысить коэффициент наплавки и расширить диапазон регулирования глубины проплавления основного металла удалось при сварке ТИГ двумя электродами, расположенными в плоскости, перпендикулярной оси шва. С помощью необходимых присадочных материалов (проволоки и др.) этот процесс дает возможность получить состав шва, отличающийся от основного металла, что особенно необходимо для наплавки [62].

Значительный эффект удалось достичь, когда в качестве защитного газа при сварке ТИГ алюминиевых сплавов на прямой полярности применили гелий. При этом способе расстояние между поверхностью изделия и электродом около 1 мм и дуга фактически полностью погружена. Пос-

кольку дуга в гелии выделяет в 1,5...2 раза больше энергии, чем в аргоне, удалось получить более глубокое проплавление при меньшем разогреве основного металла, повысить скорость сварки и уменьшить зону термического влияния. Несмотря на сравнительно высокую стоимость гелия и сложность выполнения (заточка конца электрода на острый угол и длина дуги в пределах 1...2 мм) процесс нашел применение при сварке изделий из термически упрочненных алюминиевых сплавов в авиа-, ракето- и судостроении [63, 64]. В некоторой степени эффективность сварки ТИГ сохраняется достаточной высокой при использовании смеси аргона (35...40 %) и гелия.

В конце XX — начале XXI веков сварка в инертных газах продолжает развиваться. Так, в этот период усилия направлены на создание технологий, обеспечивающих повышение производительности процесса, получение высокого качества соединений новых сплавов, расширения диапазона изготавливаемых конструкций и др. Кроме того, получают развитие работы по оценке электромагнитного воздействия на электрод и ванну, совмещения источников нагрева (комбинированные и гибридные способы). Дуговая сварка в среде защитных газов приобретает имидж процесса, характеризующегося широкими возможностями автоматизации и роботизации процессов изготовления изделий различного назначения, выполнения швов различной геометрии во всех пространственных положениях.

Выводы

1. Способы дуговой сварки в инертных газах начали развиваться в 1940-х годах, что обусловлено возникшими потребностями изготовления высококачественных ответственных конструкций из цветных металлов, специальных сталей. В США, Великобритании и СССР развернулась разработка дуговой сварки в инертных газах неплавящимся (ТИГ) и плавящимся электродом (МИГ).

2. Научно-технической основой для создания нового способа сварки стал опыт работы с атомно-водородной сваркой, управления процессами плавления электрода при дуговой сварке под флюсом. Импульсно-дуговые процессы обеспечили высокое качество наплавленного металла.

3. Сварка в инертных газах и смесях развивалась по пути совершенствования управлением переносом электродного металла и формирования шва, расширения диапазона свариваемых сплавов и изделий, снижения энергоемкости.

1. Бродский А. Я. Аргондуговая сварка вольфрамовым электродом. — М.: Машгиз, 1956. — 398 с.
2. Петров А. В. Технология дуговой сварки в среде инертных газов: Справочник по сварке / Под ред. Е. В. Соколова. — М.: Машгиз, 1961. — Т.2. — С. 372–375, 418–453.

3. *Russo V. J.* Сварка алюминиевых сплавов в среде инертных газов. — Л.: Судпромгиз, 1962. — 163 с.
4. *Металловедение* алюминиевых сплавов / Под ред. С. Т. Кишкина. — М.: Наука, 1985. — 239 с.
5. *Актуальные проблемы сварки цветных металлов*: Сб. докл. 11 Всесоюз. конф. — Киев: Наук. думка, 1985. — 464 с.
6. *Welson R. A.* Vapor-shielded arc welding at 200 imp // *Welding J.* — 1961. — № 1. — P. 13.
7. *Langmuir I.* The pressure effect in gaseous discharge // *J. Franklin institute.* — 1923. — № 11. — P. 751–762.
8. *An industry in retrospect 50 year progress* // *Welding J.* — 1969. — № 4. — P. 165–169.
9. *Alexander P. P.* Stability of the welding arc // *J. AIEE.* — 1928. — № 3. — P. 48–53.
10. *Campbell W. J.* The selection of welding processes // *Welding J.* — 1946. — № 8. — P. 704–706.
11. *Bernard A.* Living pioneers // *Ibid.* — 1966. — № 12. — P. 62–63.
12. *Alexander P. P.* Welding high carbon steel // *J. AWS.* — 1932. — № 2. — P. 8.
13. *West E. G.* Aluminium welding in this century // *The centenary of modern welding, 1885–1985.* — London: Welding Inst., 1985. — P. 1–18.
14. *Mair H.* Entwicklung und bedeutung technischer gasen in der schweißtechnik // *100 jahre DVS.* — Berlin, 1997. — S. 127–135.
15. *Piper T. R.* Heliarc welding // *Welding J.* — 1942. — № 11. — P. 770–772.
16. *Shanley F. R., Fallon C. T.* Discussions on «The heliarc welding process as applied in the aircraft industry» // *Ibid.* — 1946. — № 1. — P. 32.
17. *Houldcroft P. T.* The assembly of the aluminium alloy superstructure of them.I. «Queen Elizabeth» // *Weld. and Metal Fabr.* — 1952. — № 6. — P. 228–229.
18. *Маслов Г. А.* К итогам совещания по сварочным работам в авиационной промышленности // *Автоген. дело.* — 1948. — № 2. — С. 32–33.
19. *Бродский А. Я.* Аргонодуговая сварка металлов малых толщин // Там же. — 1948. — № 10. — С. 11–17.
20. *Рабкин Д. М.* Новый способ автоматической сварки алюминия // *Автомат. сварка.* — 1953. — № 4. — С. 45–50.
21. *Berryman J.* For inert gas shielding argon or helium ? // *Iron Age.* — 1950. — № 3. — P. 155–157.
22. *Рабкин Д. М., Гуревич С. М., Бугрий Ф. С.* Сварка цветных металлов. — Киев: Машгиз, 1959. — 72 с.
23. *Diebold J. M.* Fusion welding of sheet metal // *Welding J.* — 1946. — № 8. — P. 724–732.
24. *Needham J. C., Cooksey S. J., Milner P. R.* Metal transfer in inert gas-shielded arc welding // *British Welding J.* — 1960. — 7, № 2. — P. 101–104.
25. *Петров А. В.* Дуговая сварка нержавеющей сталей плавящимся электродом в среде инертных газов // *Вест. машиностроения.* — 1954. — № 9. — С. 68–70.
26. *Петров А. В.* Плавление электродной проволоки при аргонодуговой сварке // *Сварочн. пр-во.* — 1955. — № 2. — С. 4–7.
27. *Дятлов В. И.* Элементы теории переноса электродного металла при электродуговой сварке // *Новые проблемы сварочной техники.* — Киев: Техніка, 1964. — С. 167–182.
28. *Патон Б. Е., Завадский В. А.* Импульсное зажигание дуги с целью значительного снижения напряжения сварочного трансформатора // *Автомат. сварка.* — 1954. — № 4. — С. 46–62.
29. *Патон Б. Е.* Дальнейшее развитие систем автоматического управления и регулирования сварочных процессов // Там же. — 1963. — № 5. — С. 1–6.
30. *Патон Б. Е., Потаньевский А. Г., Подола Н. В.* Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с программным регулированием процесса // Там же. — 1964. — № 1. — С. 1–6.
31. *Патон Б. Е., Шейко П. П.* Управление переносом при дуговой сварке плавящимся электродом // Там же. — 1965. — № 5. — С. 1–7.
32. *Гуревич С. М., Замков В. Н., Кушниренко Н. А.* Повышение эффективности проплавления титановых сплавов при аргоно-дуговой сварке // Там же. — 1965. — № 9. — С. 1–4.
33. *Алов А. А., Шмаков В. М.* Аргоно-дуговая сварка с дополнительным потоком аргона // *Свароч. пр-во.* — 1962. — № 3. — С. 13–16.
34. *Петров А. В., Славин Г. А.* Исследование технологических возможностей импульсной дуги // Там же. — 1966. — № 2. — С. 1–4.
35. *Terry C. A., Tyler W. T.* Inert-gas tungsten-arc welding // *Weld. and Metal Fabr.* — 1958. — № 2. — P. 58–61.
36. *Needham J. C., Carter A. W.* Material transfer characteristic with pulsed current // *Welding J.* — 1965. — № 5. — P. 229.
37. *Trindade E. M., Allum C. J.* Characteristics in steady and pulsed current GMAW // *Weld. and Metal Fabr.* — 1984. — № 9. — P. 264–272.
38. *Шигаев Т. Г.* Приемы модулирования сварочного тока и устройства для их осуществления // *Автомат. сварка.* — 1983. — № 8. — С. 51–55.
39. *Wilson J. L., Claussen G. E., Jackson C. E.* The effect of I^2R heating on electrode melting rate // *Welding J.* — 1956. — № 1. — P. 1–8.
40. *Ющенко К. А., Пустовит А. И.* Сварка высокопрочной хладостойкой стали 03X12H10MT // *Автомат. сварка.* — 1979. — № 1. — С. 55–56.
41. *Survey* on the application of pulsed currents with the TIG process // *Weld. World.* — 1980. — № 3/4. — P. 61–66.
42. *Мандельберг С. Л., Гордонный В. Г.* Односторонняя двухслойная аргонодуговая сварка тонколистовой легированной стали // *Автомат. сварка.* — 1961. — № 9. — С. 18–23.
43. *Макара А. М., Кушниренко Б. Н.* Поперечные перемещения дуги как фактор улучшения структуры сварных соединений // Там же. — 1967. — № 1. — С. 31–35.
44. *Iversen K., Schellong B.* Vielfalt die bessere Loesung Wolfram-inertgasschweißen von aluminium mit wechselnder Polung // *Praktiker.* — 1983. — № 9. — S. 400, 402.
45. *Патон Б. Е., Воронай Н. М.* Сварка активированным плавящимся электродом в защитном газе // *Автомат. сварка.* — 1979. — № 1. — С. 1–7, 13.
46. *Макара А. М., Мосендз Н. А.* Сварка высокопрочных сталей. — Киев: Техніка, 1971. — 140 с.
47. *Савицкий М. М., Лесков Г. И.* Механизм влияния электроотрицательных элементов на проплавающую способность дуги с вольфрамовым электродом // Там же. — 1980. — № 9. — С. 17–22.
48. *Симоник А. Г., Петвиашвили В. И., Иванов А. А.* Эффект контракции дугового разряда при введении электроотрицательных элементов // *Свароч. пр-во.* — 1976. — № 3. — С. 49–51.
49. *Влияние активизирующих флюсов на проплавающую способность сварочной дуги и концентрацию энергии в анодном пятне* / О. Е. Островский, В. Н. Крюковский, Б. Б. Бук и др. // Там же. — 1977. — № 3. — С. 3–4.
50. *Контракция дуги флюсом при сварке вольфрамовым электродом в аргоне* / Б. Е. Патон, В. Н. Замков, В. Л. Прилуцкий и др. // *Автомат. сварка.* — 2000. — № 1. — С. 1–8.
51. *Ющенко К. А., Коваленко Д. В., Коваленко И. В.* Применение активаторов при дуговой сварке вольфрамовым электродом в инертных газах сталей и сплавов // Там же. — 2001. — № 7. — С. 37–43.
52. *Lucas W.* Activating flux — improving the performance of the TIG process // *Weld. and Metal Fabr.* — 2000. — № 2. — P. 7–10.
53. *Gordon J. R.* Perspectives on welding research and development in the USA // *Weld. Review International.* — 1995. — № 8. — P. 95–106.
54. *Технологии сварки и соединений в XXI веке* // *Jap. Weld. Soc.* — 2001. — 70, № 3. — P. 6–18.



55. *Замков В. Н., Прилуцкий В. П.* Теория и практика TIG-F сварки (А-TIG) (Обзор) // Автомат. сварка. — 2004. — № 9. — С. 12–15.
56. *Gage R. M.* The plasma-arc torch: A new research tool // Electric Manufacture. — 1960. — № 1. — P. 144–146.
57. *Дудко Д. А., Лакиза С. П.* О новых возможностях сварки высокотемпературной дугой, сжатой газовым потоком // Автомат. сварка. — 1960. — № 11. — С. 38–46.
58. *Микроплазменная сварка* / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: Наук. думка, 1979. — 245 с.
59. *Дудко Д. А., Корниенко А. Н.* Сварка алюминиево-магниевых сплавов плазменной дугой переменного тока // Резка, наплавка и сварка сжатой дугой. — М.: ЦИИТИ-Нефтехиммаш, 1968. — С. 87–91.
60. *Долотов Б. И.* Сварка погруженным вольфрамовым электродом // Машиностроение. — 2004. — № 1. — С. 20–24.
61. *Блащук В. Е., Боева Г. Е., Лангер Н. А.* Применение аргонодуговой сварки с электромагнитным перемешиванием при изготовлении химической аппаратуры из титановых сплавов // Актуальные проблемы сварки цветных металлов. — Киев: Наук. думка, 1985. — С. 179–181.
62. *Замков В. Н., Топольский В. Ф., Кушниренко Н. А.* Двухдуговая сварка толстолистового титана вольфрамовыми электродами // Автомат. сварка. — 1978. — № 2. — С. 44–47.
63. *Сварка алюминиевых сплавов на постоянном токе прямой полярности* / Д. М. Рабкин, О. Н. Иванова, Б. А. Стебловский, В. П. Будник // Там же. — 1971. — № 3. — С. 71–72.
64. *Будник В. П., Стебловский Б. А., Бузько М. Г.* Проплавающая способность дуги постоянного и переменного тока // Там же. — 1982. — № 8. — С. 68–71.

The history of origination and development of inert-gas arc welding was considered. Its appearance was based on the experience of application of atomic-hydrogen welding and submerged arc welding. The first TIG and MIG welding methods were developed at the beginning of the 1940s, and were applied to fabricate aluminium structures. Later, the methods for controlling metal transfer into the weld pool were developed, and different technologies for welding non-ferrous metals and alloys were elaborated.

Поступила в редакцию 12.06.2008



VII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭКОНОМИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ»

21–22 мая 2009

г. Юрга Кемеровская обл.

Организаторы конференции

Томский политехнический университет
Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета
Департамент образования и науки Кемеровской области
Администрация города Юрги
ООО «Юргинский машиностроительный завод»

Секции и научные направления конференции

- Инновационные технологии получения неразъемных соединений в машиностроении
- Инновационные технологии получения и обработки материалов в машиностроении
- Автоматизация, информатизация, экономика и менеджмент на предприятии
- Защита окружающей среды, безопасность и сохранность здоровья на предприятиях
- Передовые технологии и техника для разработки недр и землепользования

Организационный комитет

Адрес: ЮТИ ТПУ, 652055, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская, д. 26
Тел.: (8-384-51) 6-53-95. Факс: (8-384-51) 6-53-95
e-mail: www.uti.tpu, utiscience@rambler.ru