

## ВКЛАД ЕВГЕНИЯ ОСКАРОВИЧА ПАТОНА В СОЗДАНИЕ СВАРОЧНОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОЙ СТАЛИ

А.П. ЛЮТЫЙ

ПАО Электрометаллургический завод «Днепроспецсталь».  
69008, г. Запорожье, Южное шоссе, 81. E-mail: info@dss.com.ua

Анализируется деятельность Е.О. Патона по исследованию металлургических процессов сварки под флюсом, разработке сварочных материалов и улучшению качества сварных соединений. Результаты этих работ были использованы при создании электрошлаковых технологий. Библиогр. 37.

*Ключевые слова:* сварочное производство, металлургия, специальная электрометаллургия, Институт электро-сварки, сварочный материал, история техники

В 1929 г. известный мостостроитель академик Всеукраинской академии наук (ВУАН, теперь — Национальная академия наук Украины) Е.О. Патон решил применять при строительстве мостов сварку. На протяжении столетий металлические конструкции ранее строились с применением заклепочных или болтовых соединений. Каждый из мостов, проектируемых Е.О. Патоном, отличался оригинальной архитектурой, оптимальными затратами на материалы и строительство. И академик-новатор начал работать над проектом нового моста через реку Днепр в Киеве. Евгений Оскарович решил создать принципиально новую конструкцию моста и приступил к проектированию и исследованию сварных узлов. В течение трех лет был выполнен цикл исследований эксплуатационных характеристик сварных конструкций, проведены сравнительные испытания ряда натуральных клепаных и сварных изделий, разработаны рекомендации по проектированию сварных конструкций [1, 2].

Установив, что качество сварных швов нестабильно, зависит от квалификации рабочего, сварочных материалов и параметров режима он поставил перед собой задачу — механизировать и автоматизировать технологию дуговой сварки. В 1933 г. президиум ВУАН принял решение о создании Института электросварки, утвержденное правительством УССР в январе 1934 г. [3–5].

Начались исследования факторов, влияющих на качество сварных швов, и работы по созданию сварочных материалов. Понимая, что в отличие от других способов неразъемных соединений при сварке в расплавленной ванне протекают металлургические процессы, Е.О. Патон в 1935 г. начал формировать лабораторию технологии сварки во

главе с В.И. Дятловым, окончившим металлургический факультет КПИ и проработавшим три года на заводе в г. Златоусте, где производили высококачественные оружейные стали. Исследования в области сварочного материаловедения начались с изучения особенностей структуры сварных соединений низкоуглеродистых сталей. На первом этапе развития сварочного материаловедения основное внимание уделялось установлению взаимосвязи между параметрами термических циклов и структурой шва, а также зоны термического влияния [6–8].

В это же время в ИЭС под руководством Е.О. Патона разрабатывалась сварочная головка для дуговой автоматической сварки плавящимся электродом (П.П. Буштедт) и методы защиты зоны сварки (В.И. Дятлов). Решались проблемы размещения на поверхности электродной проволоки смесей для защиты зоны сварки и подвода к ней тока в сварочных головках. В короткие сроки было разработано несколько вариантов состава смесей и конструкций проволок: с канавками, крестообразного сечения с выемками, заполненными шихтой и др. Однако стабильного удовлетворительного качества достигнуть не удалось [8].

Е.О. Патон принимает решение сосредоточить усилия на исследовании процессов сварки под флюсом. Флюс для защиты сварочной ванны применял еще Н.Г. Славянов [9], однако обычные металлургические флюсы не обеспечивали требуемого качества. Его идею использовали сотрудники фирмы Линде (США), разработавшие состав гранулированного флюса для сварки сталей и технику автоматической сварки плавящимся электродом под слоем флюса [10, 11].

Для создания нового отечественного вида сварки Е.О. Патон организовал группу металлургии



сварки в составе: В.И. Дятлов, А.М. Лапин, В.С. Ширин. Основной объем исследований пришелся на процессы плавления и металлургические процессы, протекающие в сварочной ванне [12].

В 1938–1939 гг. в ИЭС была разработана сварка под слоем флюса неплавящимся (угольным) электродом малоуглеродистых сталей толщиной до 18 мм. Продолжая развивать успехи в механизации и автоматизации процессов дуговой сварки, в ИЭС сумели самостоятельно завершить решение всех проблем, оставшихся на пути применения сварки плавящимся электродом под слоем флюса [13].

В 1939 г. был разработан первый отечественный плавящийся флюс (АН-1), электродная проволока с повышенным содержанием раскислителей — кремния и марганца (типа 10ГС), оригинальные конструкции сварочной головки и сварочных трансформаторов. Через год был предложен высокомарганцевый флюс для сварки малоуглеродистой проволокой. Новый способ сварки оказался в 11 раз более производительным, чем ручная сварка.

Результаты поисковых работ были обобщены Е.О. Патонем в первой в мире монографии о сварке под флюсом, вышедшей в 1940 г. В ней, кроме прочего, были заложены основы нового научного направления — сварочного материаловедения [14].

Впервые в мире Е.О. Патон раскрыл зависимость микроструктуры металла шва и зоны термического влияния от режимов сварки, систематизировал данные об особенностях микроструктуры сварного соединения. В третьем издании монографии по дуговой автоматической сварке Е.О. Патон отметил: «Шов, полученный при сварке под флюсом, существенно отличается от обыкновенного шва, сваренного открытой дугой. Несмотря на столбчатое строение, металл шва отличается большей вязкостью (относительным удлинением до 25 % и ударной вязкостью до 150 Дж/см<sup>2</sup>). Этот результат опрокидывает существующую до сих пор теорию о том, что хрупкость металла, т. е. малое относительное удлинение и ударная вязкость вызваны прежде всего столбчатой структурой. Сварка под флюсом доказала, что решающим фактором, вызывающим хрупкость металла шва, является засоренность азотом и кислородом, проникающими в расплавленный металл» [15].

Все последующее развитие сварки блестяще подтвердило точку зрения Е.О. Патона. Влияние этих факторов было так же подтверждено в новом процессе — электрошлаковом литье, разработанном в ИЭС им. Е.О. Патона в 1960-х годах [16]

Суровой проверке патоновский принцип организации создания новых технологий подвергся

в годы Второй мировой войны. В Нижнем Тагиле на Уральском танковом заводе им. Коминтерна под руководством Е.О. Патона удалось впервые в мире создать оборудование и технологию автоматической сварки танков и другой бронетехники. Основной проблемой было предупреждение образования трещин в сварных соединениях броневых низколегированных сталей.

Были установлены причины растрескивания металла швов (В.И. Дятлов, Т.М. Слуцкая, А.И. Иванов), разработаны флюсы из местного сырья (В.И. Дятлов, Т.М. Слуцкая, А.И. Коренной); изучена природа процесса в зоне сварки под флюсом и впервые в мире экспериментально доказано наличие при этом дугового разряда (Б.Е. Патон и А.М. Макара); сконструированы оригинальные автоматические сварочные головки с постоянной скоростью подачи электрода и системами управления и др. [17, 18]. В период 1941–1945 гг. при исследованиях структуры металла шва и зоны термического влияния сварки на броневых сталях была подтверждена закалочная гипотеза образования холодных трещин [18]. В годы войны получили дальнейшее развитие работы института по изучению основ сварки под флюсом (Б.Е. Патон, А.М. Макара), созданию новых материалов (флюсы АН-2, АШ, АШМА) и широкому внедрению этого прогрессивного процесса в производство оборонной техники [18–21].

Еще одной вершиной в истории автоматической сварки под флюсом стало создание впервые в мире устройств и технологий выполнения вертикальных и горизонтальных швов. Тем самым была решена задача полномасштабного применения сварки под флюсом при строительстве крупных промышленных сооружений (домен, газгольдеров, толстостенных трубопроводов) и зданий [19].

Несмотря на огромную программу внедренческих заданий, на работу в цехах восстанавливаемых предприятий научная работа в Институте проводилась по 35 темам. Е.О. Патон был инициатором целенаправленных фундаментальных исследований. В конце 1940-х начале 1950-х годов выполнялись теоретические и экспериментальные исследования, без результатов которых уже нельзя было разрабатывать новые технологии и сварочную технику и результаты которых стали основой развития новых научных направлений. Специалистами ИЭС им. Е.О. Патона, МВТУ им. Н.Э. Баумана, ЦНИИТМаш, НИАТ и другими были изучены процессы плавления электрода, кристаллизации сварочной ванны, определены причины образования пор, трещин и др. Получило развитие материаловедение сварки, выделившееся из металлургии сварки в самостоятельное направление. В подобных направлениях проводились исследо-

вания и специалистами США, Великобритании, Франции. В журналах были развернуты дискуссии, сформулированы рекомендации по повышению качества металла шва, созданию сварочных и наплавочных материалов [20–26]. Исследования первичной кристаллизации и микроскопической неоднородности сварных швов, выполненные в 1940–50-х годах, имели важное значение для совершенствования сварочных материалов и технологий.

В первые послевоенные годы был разработан ряд высококремнистых плавных флюсов, содержащих 40...50 %  $\text{SiO}_2$ , а также до 20 %  $\text{MnO}$  (АН-3) или до 35...40 %  $\text{MnO}$  (АН-348, АН-348Ш, АН-348А) и др. При сварке под этими флюсами углеродистых сталей проволокой из низкоуглеродистой стали происходит восстановление кремния из флюса. Вместе с тем из флюса в металл шва восстанавливается марганец.

В середине 1940-х годов в ИЭС им. Е.О. Патона Б.И. Медовар установил, что при сварке коррозионноустойчивых хромоникелевых сталей электродами с содержанием ниобия 0,9 % и выше при содержании кремния и марганца более 1,5 % и углерода 0,09 % появляются трещины. Для сварки ниобиевой стали были разработаны и внедрены сварочные проволоки нового типа — ЭИ605 и ЭИ606, ЭП75, ЭП87, ЭИ793, а также флюсы АН-26, БКФ-5, ХНК-66 [27].

К началу 50-х годов был собран обширный экспериментальный материал по проблеме образования трещин в сварных швах. Изучены физико-химические свойства расплавленных сварочных флюсов и шлаков при высоких температурах (вязкость, электропроводность, поверхностные свойства, термодинамическая активность оксидов). Важным процессом является взаимодействие расплавленного шлака с закристаллизовавшимся металлом шва.

В результате исследований свариваемости низкоуглеродистой стали, проведенными под руководством Е.О. Патона, было установлено, что повышение чувствительности стали к переходу в хрупкое состояние в процессе термического цикла сварки зависит от химического состава, способа раскисления стали при плавке и размеров зерна. Низкоуглеродистая сталь, успокоенная кремнием и алюминием и прокатанная при оптимальной температуре, обладает наиболее низким порогом хладноломкости в зоне термического влияния [28, 29]. Что касается металла шва, то для исключения трещин необходимо, чтобы количество примесей, способствующих образованию трещин, не превышало определенной величины и распределены они были равномерно по сечению проката.

Основным результатом таких исследований явилась разработка требований к сталям для сварных конструкций. Евгений Оскарович встретился с Министром черной металлургии И.Ф. Тевосяном и попросил сделать опытные образцы стали по институтским техническим условиям. Просьба была немедленно удовлетворена и сталь, выплавленная в Мариуполе, обладала хорошей свариваемостью при отсутствии дефектов. Металлурги вынуждены были согласиться с точкой зрения Е.О. Патона — «при производстве стали необходимо учитывать требования сварщиков» (а спустя десять лет в ИЭС им. Е.О. Патона будут созданы технологии производства металлов и сплавов, которые внедряют металлурги во многих странах).

В 1948–1949 годах в ходе отработки технологии сварки под флюсом с принудительным формированием вертикального шва Г.З. Волошкевичем было обнаружено, что электродная проволока плавится при бездуговом разряде в расплавленном флюсе — шлаковой ванне. Возник новый вид сварки — электрошлаковая сварка (ЭШС), основанная на электропроводности жидкого шлака. Были решены задачи обеспечения устойчивости электрошлакового процесса, а также создания устройств для удержания металлической и шлаковой ванн и др. (Б.Е. Патон, Г.З. Волошкевич, В.Е. Патон и др.) [30, 31].

Создание процесса электрошлаковой сварки позволило решить проблемы производства нового класса массивных металлических конструкций: сварно-литых, сварно-кованных и сварно-прокатных. ЭШС «открыла путь» технологиям, получившим общее название «электрошлаковые технологии».

В 1952 г. в ИЭС им. Е.О. Патона был получен первый слиток и началось изучение путей применения сварочной металлургии, сварочной физико-химии, сварочной техники при получении слитков для прокатки иковки. Электрошлаковый переплав (ЭШП) положил начало спецэлектрометаллургии. В связи с рядом особенностей ЭШП пришлось разрабатывать специальные флюсы, используя опыт создания флюсов для ЭШС стали [32, 33].

Жидкий электропроводный шлак является не только источником тепла, но способствует рафинированию переплавляемого металла от вредных примесей (серы, неметаллических включений), защищает расплавленный металл от воздействия атмосферы.

Первой в мире промышленной электрошлаковой печью была лабораторная печь, спроектированная в ИЭС им. Е.О. Патона в 1956 г. и в мае 1958 г. запущенная на заводе «Днепроспецсталь» в г. Запорожье. Вскоре на этом же заводе был по-





строен первый в мировой практике специализированный цех ЭШП. В начале 1958 г. введена в эксплуатацию на НКМЗ первая в мире трехфазная печь для выпуска 12-процентной хромистой жаропрочной стали [34–37].

1. Патон Е.О., Козловский Н.И. Сравнение клепаных и сварных сквозных ферм: Опыт исследований. – Киев: Электросварочный ком., 1931. – 24 с.
2. Патон С.О. Мостов опорные части зварного типу. – Киев: ВУАН, Елект. комітет, 1932. – 36 с.
3. Протоколы заседаний Президиума ВУАН за 1930 г. – Центральный научный архив АН Украины, ф.1, оп.1, л. 108.
4. Протоколы заседаний Президиума за 1931 г. – л. 358. Организация электросварной лабораторії (при ВУАН) // Вісник ВУАН. – 1930. – № 6. – С. 14.
5. Патон Е.О. Про організацію Електросварного комітету при ВУАН // Вісник ВУАН. – 1930. – № 6. – С. 25–28.
6. Дятлов В.И., Слуцька Т.М. Выготвления товстих электродных покрытий из синтетических шлаков. – Київ: Вид-во АН УССР, 1938. – 47 с.
7. Дятлов В.И., Фруммин И.И., Слуцкая Т.М. Электроды Института электросварки АН УССР / Под ред. Е.О. Патона. – Киев: Изд-во АН УССР, 1941. – 130 с.
8. Литвинов А.П. В.И. Дятлов – один из основоположников научных основ сварки // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту. – 2008. – № 18. – С. 158–161.
9. Патон Б.Е. Современное состояние автоматической сварки под флюсом – итог развития идей Н.Г. Славянова / Сб. докл. науч.-техн. конф. сварщиков, посвященной 100-летию со дня рождения Н.Г. Славянова. – Киев: Машгиз, 1955. – С. 15–27.
10. Патон Е.О. О первенстве советской науки и техники в области сварки под флюсом. – Киев: Ин-т электросварки, 1951. – 32 с.
11. Матійко М.М. Розвиток дугового електросварювання на Україні. – Київ: Вид-во АН УССР, 1960. – 155 с.
12. Патон Е.О. Воспоминания. – Киев: Вид-во Художньої літератури, 1956. – 322 с.
13. Чеканов А.А. История автоматической электросварки. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 159 с.
14. Патон Е.О. Автоматическая сварка голым электродом под слоем флюса. – Харьков: Харьк. дом техники, 1940. – 32 с.
15. Патон Е.О. Скоростная автоматическая сварка под слоем флюса. – М.: Свердловск: Машгиз, 1942. – 208 с.
16. Касаткин Б.С. Металловедение сварки плавлением / Сварка в СССР в 2-х т. – Т.2. – С. 88–107.
17. Патон Б.Е., Макара А.М. Экспериментальное исследование процесс автоматической сварки под слоем флюса. – Киев: Ин-т электросварки АН УССР, 1944. – 92 с.
18. Патон Б.Е. Развитие автоматической электросварки под флюсом за годы войны // Электричество. – 1945. – № 3. – С. 3–5.
19. Сборник, посвященный 75-летию со дня рождения и 50-летию научной деятельности Е.О. Патона. – Киев: Изд-во АН УССР, 1948. – Т.1. – 380 с.
20. Автоматическая электродуговая сварка / Под ред. Е.О. Патона. – К., М.: Машгиз, 1953. – 393 с.
21. Патон Е.О. Развитие автоматической сварки под флюсом за 10 лет (1940–1950 гг.) // Автогенное дело. – 1950. – № 2. – С. 1–3.
22. Макара А.М., Медовар Б.И. О характере первичной кристаллизации сварочной ванны // Автогенное дело. – 1948. – № 12. – С. 25–27.
23. Любавский К.В. К вопросу взаимодействия элементов и их окислов в сварочной ванне // Там же. – 1948. – № 10. – С. 30–31.
24. Фруммин И.И., Кирдо И.В., Подгаецкий В.В. Образование пор в сварных швах и влияние состава флюса на склонность к порам // Там же. – 1949. – № 10. – С. 1–11.
25. Мовчан Б.А. О некоторых особенностях первичной кристаллизации легированного металла // Автомат. сварка. – 1953. – № 3. – С. 3–15.
26. Касаткин Б.С., Россошинский А.А. О влиянии легирующих элементов на развитие химической неоднородности сварных швов // Автомат. сварка. – 1956. – № 6. – С. 104–108.
27. Медовар Б.И. Сварка жаропрочных аустенитных сталей и сплавов. – М.: Машиностроение, 1966. – 430 с.
28. Патон Е.О., Шеверницкий В.В. К вопросу о сварных железнодорожных мостах // Сб. тр. по автоматической сварке под флюсом. – Киев: Изд-во АН УССР, 1948. – № 1. – С. 7–14.
29. Патон Е.О., Шеверницкий В.В. Сталь для сварных мостов // Там же. – 1949. – № 6. – С. 3–7.
30. Электрошлаковая сварка / Под ред. Б.Е. Патона. – К., М.: Машгиз, 1956. – 168 с.
31. Электрошлаковая сварка / Под ред. Б.Е. Патона, изд. 2-е. – К., М.: Машгиз, 1959. – 410 с.
32. Подгаецкий В.В. Флюсы для сварки и спецэлектроталлургии // Сварка и спецэлектроталлургия. – Киев: Наук. думка, 1984. – С. 188–200.
33. Патон Б.Е., Медовар Б.И. Будущее электрошлаковой технологии // Проблемы электрошлаковых технологий. – Киев: Наук. думка, 1978. – С. 7–26.
34. Патон Б.Е., Медовар Б.И., Патон В.Е. Новый способ электрической отливки слитков // Бюл. техн. информ. НТО «Машпром». – 1956. – Вып. 1. – С. 3–9.
35. Патон Б.Е., Медовар Б.И., Латаш Ю.В. Электрошлаковый переплав сталей и сплавов в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе // Автомат. сварка. – 1958. – № 11. – С. 5–15.
36. Лейбензон С.А., Трегубенко А.Ф. Производство стали методом электрошлакового переплава. – М.: Металлургия, 1963. – 237 с.
37. Электрошлаковый переплав / Б.И. Медовар, Ю. В. Латаш, Б.И. Максимович, Л.М. Ступак. – М.: Металлургиздат, 1965. – 170 с.

Поступила в редакцию 03.03.2015

**СВАРКА И НАПЛАВКА МЕДИ И СПЛАВОВ НА ЕЕ ОСНОВЕ** / Составители: В.М. Илюшенко, Е.П. Лукьянченко. – Киев: Международная ассоциация «Сварка», 2013. – 396 с. Мягкий переплет, 165x235 мм.

Сборник включает основные публикации — статьи, доклады, информационные материалы и изобретения в области сварки и наплавки меди и ее сплавов за период с 1953 по 2013 гг., авторами которых являлись в основном сотрудники Института электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины. В представленных материалах освещен широкий круг вопросов разработки прогрессивных технологических процессов сварки и наплавки этих материалов и опыт их производственного применения в различных отраслях промышленности. Сборник может быть полезен инженерно-техническим работникам сварочного производства, а также специалистам, развивающим исследования в этой области.