

ЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

УДК 621.791.75.

Литвинов А.П.*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ НАГРЕВА ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НАПЛАВЛЕННЫХ СЛОЕВ

(к 75-летию Института электросварки им. Е.О. Патона)

Проведен анализ основных публикаций о технических особенностях и возможностях технологий наплавки, основанных на применении концентрированных источников энергии, а именно: дуги и дуговой плазмы, электронного, лазерного и светового лучей.

Наплавкой занимаются во многих научных школах. По числу публикаций можно считать, что в Украине проблемам развития этой технологии уделяется не меньше внимания, чем в ведущих промышленно развитых странах мира. Первое место по числу публикаций и их важности занимает Институт электросварки им. Е.О. Патона, где решаются все проблемы в комплексе, в том числе созданы специальные источники питания, оборудование. Значительное число работ по созданию технологий и материалов выполнено в Приазовском государственном техническом университете.

Задача ремонтной или изготовительной наплавки деталей и узлов машин – обеспечение максимально возможных эксплуатационных качеств. Основные требования к ней – это прочность сцепления и комплекс триботехнических свойств. Наибольшее применение получили способы наплавки основанные на нагреве электрической дугой: плавящимся электродом, под флюсом и порошковой проволокой или лентой, а также плазменная наплавка порошками. Каждый из названных процессов имеет свои преимущества и недостатки. Обусловлено это такими специфическими требованиями, как минимальная глубина проплавления при хорошей свариваемости и минимальном перемешивании основного и наплавляемого материалов, исключение металлургических реакций между компонентами наплавляемых материалов сложной пространственной геометрией поверхности и малыми допусками на колебания размеров и др. Если при сварке конструкций из большинства металлов и сплавов состав шва идентичен основному материалу (кроме разнородных, композиционных и ряда других), то при наплавке, особенно, изготовительной, наплавленный материал отличается от основной части изделия по многим свойствам. При этом состав, структура, форма наплавленной поверхности образуется именно в процессе наплавки. Дополнительная трудность обусловлена характеристикой свариваемости. Известно, что чем выше твердость сплава, тем хуже показатели его свариваемости. Упомянутые особенности наплавки обуславливают проведение специальных исследований, направленных на совершенствование процессов наплавки.

Эволюция наплавки проходила в прямой связи с расширением возможностей источников нагрева, в основном одновременно с изменением родственных технологий (сварки, пайки, терморезки, напыления и т. д.). Основное стремление работающих над проблемами наплавки – это обеспечение требуемого качества наплавленного слоя при минимальных затратах материалов, энергии, трудоемкости и др.

В середине прошлого века получили распространение такие виды наплавки, как дуговая под флюсом, в среде защитных газов и самозащитной порошковой проволокой, индукционная и газовая. Основным преимуществом некоторых из этих способов наплавки является возможность использовать наплавочные материалы в широком диапазоне составов, так как при их изготовлении не возникает ограничений по выбору компонентов, обусловленных

*ШТУ канд. техн. наук, доц.

физическими и металлургическими условиями плавания и спекания. Разработанные источники нагрева и плавания позволяют наплавлять материалы, содержащие самые тугоплавкие компоненты, обеспечивать требуемые качества изделия. Основное внимание уделяется технологиям наплавки материалов, находящихся в порошкообразном состоянии: порошковых проволок и лент в качестве плавящегося электрода; порошков и порошковых проволок в качестве присадки. Однако до настоящего времени не выполнен комплексный сравнительный анализ технологий наплавки концентрированными источниками тепла.

Задачей настоящей работы является анализ основных публикаций о технических особенностях и возможностях технологий наплавки, основанных на применении концентрированных источников энергии, а именно: дуги и дуговой плазмы, электронного, лазерного и светового лучей.

Современный этап научно-технического прогресса характерен повышенными требованиями к условиям эксплуатации машин, энергетического и металлургического оборудования, расширением диапазона температур, динамических нагрузок, агрессивных сред и т.п. Так, узлы и детали ракет-носителей работают в диапазоне от -100°C до $+2000^{\circ}\text{C}$, элементы атомных электростанций в условиях интенсивного радиоактивного облучения и т.п. Эти обстоятельства требуют в частности, создания новых специальных материалов, усовершенствования техники получения биметаллов с помощью наплавки, в том числе и основанной на применении новых источников нагрева. Новые виды наплавки должны быть более производительными, обеспечивать возможность получения наплавленного металла необходимого по условиям его легирования, высокое качество шва и зоны сплавления и др. Важными характеристиками способов сварки является коэффициент перехода компонентов наплавочных материалов в шов (валик). По мере развития техники, эксплуатирующейся при высоких нагрузках, повышаются требования к точности и равномерности состава наплавленного металла. Однако, при самых распространенных в настоящее время способах наплавки – дуговой под флюсами и открытой дугой (в защитных газах, покрытыми плавящими электродами, самозащитными электродами) коэффициенты перехода и распределение элементов в валике зависят от металлургических процессов (обменных, окислительно-восстановительных и других). Еще в конце 1950-х годов И.И. Фруминим было установлено, что состав наплавленного металла зависит от силы тока и напряжения дуги. Им были показаны области режимов наплавки под флюсом АН-20 различными проволоками, в пределах которых состав наплавленного металла в допустимой степени отклоняется от среднего [1]. В 1960 годах начинает широко применяться дуговая наплавка порошковыми материалами, продолжают разрабатываться новые составы электродных покрытий для ручной дуговой сварки. Однако, упомянутый недостаток дуговых способов неравномерности состава наплавленного металла потребовал разработку новых видов наплавки, основанных на процессах получения более стабильного состава шва. К процессам с устойчивыми и управляемыми параметрами режима нагрева относятся плазменно-дуговые, лазерные, электронно-лучевые и некоторые гибридные. Химическая макронеоднородность наблюдается и при дуговой наплавке покрытыми плавящимися электродами, порошковыми проволоками и лентами [2]. Плазменная наплавка начала разрабатываться в конце 1960-х годов, через несколько лет после первых сообщений о сварке дугой, сжатой в канале сопла потоком инертного газа [3]. Однако, более десятилетия плазменно-дуговая сварка выполнялась по одной схеме – с неплавящимся вольфрамовым электродом (дугой прямого или косвенного действия) и присадочной (обесточенной) проволокой. Впоследствии за сравнительно короткое время было разработано несколько принципов подачи присадочного наплавляемого материала в зону дуги. Материал, наносимый на поверхность изделия, подавали в виде проволоки или нескольких проволок, в том числе подогретыми и подключенными к отдельным источникам питания, в виде порошка (с внутренней и внешней подачей его в зону горения дуги), в виде твердых присадок, (прессованных из порошков, сплошных пластин и проволок). До настоящего времени способы плазменной наплавки применяются для ремонта и улучшения триботехнических свойств деталей, работающих в сложных условиях [4].

При наплавке кобальтовыми сплавами наибольшие трудности представляет предупреждение трещин и обеспечение малого содержания железа в наплавленном металле (не более 5 %). Плазменно-порошковая наплавка характеризуется «мягким» термическим циклом,

хорошим формированием валиков и высоким качеством наплавленного металла, что также способствует уменьшению возникновения трещин. Важным достоинством плазменно-порошковой наплавки является возможность получения малого проплавленного основного металла независимо от температуры его подогрева [5].

Порошки сплавов на основе никеля и кобальта применяются для наплавки деталей арматуры различного назначения, клапанов и седел двигателей внутреннего сгорания и т.п. Высокоуглеродистые порошки сплавов на железной основе ПГ-С1 и ПГ – АН1 предназначены для наплавки деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания, например, рабочих органов почвообрабатывающих и землеройной техники. Порошками ПР-17Х5В3МФ5С и ПР-22Х6ВМФ8С наплавляют штамповый инструмент для горячего и холодного деформирования, порошками ПР-25Х5ФМС и ПР- 30ХВ2М2ФС – валки горячей прокатки, штампы ножи для резки горячего металла. (Технологические параметры режима наплавки: ток наплавки. при ПР 100 % - не более 400А, скорость перемещения аппарата - 3...-6 м/ч, размах колебаний плазмотрона 25 мм) [4, 6].

Кроме этого они использованы непосредственно для получения наплавленных слоев, плазменные процессы для производства сферических частиц карбидов вольфрама WC-W₂C – релита – при этом использовано термоцентробежное распыление, позволяющее получать материал с улучшенными служебными характеристиками. Для этих целей в ИЭС им. Е.О. Патона разработана специализированная установка, принцип действия которой основан на оплавлении плазменной дугой торца вращающегося стержня карбидов вольфрама при одновременном распылении и кристаллизации сферических частиц. При этом гранулометрический состав частиц при микротвердости HV 2800-3100 в зависимости от скорости вращения стержня изменяется в пределах 1000 – 50 мкм. Основными технологиями нанесения износостойких покрытий с использованием частиц WC - W₂C сферической формы являются аргонодуговая, плазменная, плазменно-порошковая наплавка, наплавка с применением ацетилено-кислородного пламени [7].

В конце 1970-х годов был предложен способ плазменной сварки плавящимся электродом, подаваемым через полоцилиндрический электрод, получивший название плазма- МИГ. Принцип поступления тепла в изделие от двух независимых его источников обладает определенными преимуществами. Главным из них считается возможность раздельного нагрева изделия и электродной порошковой проволоки. Подача расплавленного наплаваемого материала на подплавленную на доли миллиметра поверхность расширяет диапазон составов наплаваемых материалов. [8].

Одним из наиболее надежных и перспективных методов повышения работоспособности пресс-форм является плазма-МИГ наплавка их рабочих поверхностей износостойким сплавом, стойким против образования сетки разгара [9].

Значительные перспективы выполнения задач, стоящих перед наплавкой, открывает применение электронно-лучевого нагрева. Так, для повышения износостойкости и срока эксплуатации алюминиевых поршней разработана технология износостойкой упрочняющей наплавки поршней в зоне верхней компрессионной канавки с использованием легирующих присадок и высококонцентрированного нагрева электронным пучком. Применение легирующего материала дает возможность получить необходимую твердость зоны упрочнения в пределах HV 150 – 180 [10, 11].

Определённые преимущества установлены в процессе разработки технологий, основанных на нагреве лазерным лучом. Так в ИЭС им. Е.О. Патона доказаны преимущества лазерной наплавки изделий из меди и ее сплавов путем нанесения слоя переплавленного металла на основной металл (подложку) с прочностью сцепления, близкой к значению временного сопротивления материала изделия [12].

При лазерной наплавке химические реакции почти не влияют на качество наплавленного металла, а важную роль в образовании переходной зоны принадлежит физике процесса. При лазерной наплавке в расплаве под воздействием излучения возникают турбулентные потоки, перемешивающие основной металл с наплаваемым металлом. Однако за счет разности долей расплавленного материала основы (подложки) и наплавленного слоя, а также из-за высоких скоростей процесса явление массопереноса локализуется на границе раздела слоев, в связи с чем, последняя превращается в зону перемешивания металлов определенной ширины [13, 14].

В отличие от лазера и электронного луча для светолучевой обработки не требуется дорогого оборудования, КПД этого процесса достаточно высокий. Исследования, проведенные

в последние годы, подтвердили большую перспективность использования светолучевого нагрева для упрочнения и наплавки различных деталей [15].

Обработка поверхностей конструкционных металлических материалов световым лучом является перспективным методом для улучшения поверхностных свойств деталей. Так, при уменьшении пятна нагрева до 5 мм и соответствующем увеличении удельной мощности светового луча возрастает скорость охлаждения и изменяется структура оплавленного слоя серого чугуна. В структуре металла оплавленной зоны и ЗТВ, кроме ледебурита, появляется мартенсит. Это способствует существенному увеличению их микротвердости (соответственно HV_{0,2} 900 в оплавленной зоне и NB_{0,2} 700 в ЗТВ) [16].

В заключении следует отметить, что электронно-лучевые, лазерные и оптико-световые процессы еще не нашли достаточно широкого применения в наплавке ответственных деталей. Дуговые способы наплавки продолжают совершенствоваться на протяжении полувека. В Украине, кроме ИЭС им. Е.О. Патона, успешно решаются задачи, возникающие в ряде отраслей промышленности. Упрочнением узлов металлургического оборудования, горнодобывающих машин чаще занимаются специалисты ПГТУ – школы, основанной К.В. Багрянским. Специфическим требованиям судостроения посвящают свои работы специалисты Николаевского государственного кораблестроительного университета им. С.О. Макарова. Проблемами улучшения качества наплавленного металла занимаются в НТУУ «КПИ» и ряде других вузов и лабораторий [17 – 24].

Выводы

1. Наплавка развивается на основе совершенствования источников нагрева и наплавочных материалов в соответствии с усложняющимися условиями функционирования деталей машин и оборудования новых отраслей промышленности.
2. В течение нескольких десятилетий наилучшее качество наплавленных валков обеспечивают дуговые и плазменно-дуговые процессы и различного типа материалы, составы которых разрабатываются с учетом особенностей источников нагрева, комплекса свойств основного материала, требований к изделию. Как правило, каждая технология и материалы создаются для конкретных изделий.
3. Способы наплавки лучевыми источниками энергии, несмотря на определенные преимущества, имеют ограниченное применение; для их дальнейшего развития необходимо расширение научных исследований по широкому кругу вопросов.

Перечень ссылок

1. *Фрумин И.И.* Автоматическая электродуговая наплавка / *И.И. Фрумин.* – Харьков: Металлургиздат, 1961. – 422 с.
2. Химическая макронеоднородность металла, наплавленного различными электродными материалами / *В.Е. Еремеев, Ю.В. Стреляный, В.А. Корбут, Л.В. Песня* // Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла. – К.: ИЭС им. Е.О. Патона, 1979. – С. 36 – 42.
3. *Дудко Д.А.* О новых возможностях сварки высокотемпературной дугой, сжатой газовым потоком / *Д.А. Дудко, С.П. Лакиза* // Автоматическая сварка. – 1960. – № 11. – С. 28 – 33.
4. *Переpletчиков Е.Ф.* Плазменная наплавка / *Е.Ф. Переpletчиков* // Сварщик. – 2000. – № 2. – С. 8 – 11.
5. *Zuchowski R. S.* New developments in plasma arc surfacing / *R. S. Zuchowski, E. Garrabrant E* // Welding J. – 1964. – № 1. – P. 13 – 26.
6. *Переpletчиков Е.Ф.* Плазменно-порошковая наплавка износо- и коррозионностойких сплавов в арматуростроении / *Е.Ф. Переpletчиков* // Автомат. сварка. – 2004. – № 10. – С. 37 – 44.
7. *Белый А.И.* Особенности раскисления металла сварочной ванны при плазменной наплавке композиционных материалов / *А.И. Белый, А.П. Жудра, В.И. Дзыкович* // Автомат. сварка. – 2002. – № 10. – С. 48 – 49.

8. *Essers W.G. Jelmoring Arc Characteristic and transefer with plasma-MIG welding / W.G. Jelmoring Essers, G.W Tichelear // Metal constraction and British welding journal. – 1972. – № 12. – P. 439 – 447.*
9. *Чигарев В.В. Исследование плавления электродного металла и формирования валика при плазма-МИГ наплавке порошковой проволокой / В.В. Чигарев, К.А Кондрашов, Н.А. Макаренко // Вісник Призов. держ. техн. ун-ту: Зб.наук. пр. – Маріуполь: – 2000. – № 11. – С. 172 – 174.*
10. *Бондарев А.А. Совершенствование конструкционных сварнолитых поршней дизелей, свариваемых способом ЭЛС / А.А. Бондарев, Е.Г. Терновой, А.Н. Шалай // Автомат. сварка. – 1988. – №8. – С. 74 – 75.*
11. *Бондарев А.А. Развитие технологии электроннолучевой сварки цветных и тугоплавких металлов и сплавов. / А.А. Бондарев, А.Д. Шевелев, Б.А. Задерий // Автомат. сварка. – 1991. – № 6. – С. 46 – 49.*
12. *Хаскин В.Ю. Прочность сцепления слоя, наплавленного лазерным излучением, с металлом основы / В.Ю. Хаскин, О.А. Величко // Автомат. сварка. – 1994 – № 7 – 8. – С. 51 – 52.*
13. *Лазерная наплавка порошков сплава системы Ni – Cr – В – Si на медь и ее сплавы./ Т.Г. Чижевская, В.Ю. Хаскин, В.В. Наквасюк, О.А. Величко // Автомат. сварка. – 1997. – № 8. – С. 45 – 47.*
14. *Weerasinghe V. M. Laser cladding with blown powder / V. M.Weerasinghe, W. M. Steen // Metal Construction. – 1987. – V. 19. – № 10. – P. 581 – 585.*
15. *Шань Дзиго Светолучевая наплавка смеси порошков из самофлюсующегося никелевого сплава и карбида вольфрама / Дзиго Шань, Цзяле Жень // Автомат. сварка. – 1999. – № 4. – С. 56 – 58.*
16. *Термическая обработка и наплавка с использованием светолучевого нагрева / Шань Дзиго, В. Айтинг, Джан Ди, Рен Джайли. // Автомат. сварка. — 2000. – № 10. – С. 171 – 173.*
17. *Зусин В.Я. Исследование стойкости алюминиевых сплавов, наплавленных порошковой проволокой, против термических ударов / В.Я. Зусин, О.Б. Носовская // Сварочное пр-во. – 1991. – № 5. – С. 12 – 13.*
18. *Лившиц Л.С. Наплавочные материалы и технология наплавки для повышения износостойкости и восстановления деталей машин. / Л.С. Лившиц // Сварочное пр-во. – 1991. – № 1. – С. 15 – 17.*
19. *Лецинский Л.К. Повышение ресурса работы наплавленных роликовых направляющих машин непрерывного литья заготовок / Л.К. Лецинский // Сварочное пр-во. – 1991. – № 1. – С. 9 – 11.*
20. *Повышение работоспособности бандажированных опорных валков стана «3000» наплавкой / В.И. Щетинина, К.К. Степанов, Н.Г. Заварика, С.В. Щетинин // Автомат. сварка. – 1997. – № 2. – С. 33 – 35.*
21. *Семенов С.А. Лазерная наплавка и нанесение покрытий / С.А. Семенов //Лазерная технология и ее применение в металлообработке. – Л.: ЛДНТП, 1990. – С. 28 – 35.*
22. *Пулька Ч.В. Влияние режимов индукционной наплавки на толщину наплавленного слоя и деформация тонких стальных дисков / Ч.В. Пулька // Автомат. сварка. – 1997. – № 10. – С. 57 – 58.*
23. *Царюк А.К. Легирование наплавленного металла через синтетический флюс при сварке и наплавке / А.К. Царюк, Ю.Н. Вахнин // Автомат. сварка. – 1997. – № 2. – С. 20 – 23.*
24. *Деев В.А. Многоэлектродная наплавка стальных цилиндров / А.В. Деев // Автомат. сварка. – 1974. – № 3. – С. 56 – 59.*

Рецензент: В.В. Чигарев
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 23.03.2009