

# ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В БЕЛАРУСИ

Гордиенко А.И., Поболь И.Л.

Физико-технический институт НАН Беларуси

Процессы модифицирования свойств поверхности металлических изделий, а также получения неразъемных соединений являются приоритетными направлениями в материаловедении и создании перспективных технологий. Возможности традиционных методов обработки с целью повышения физико-механических свойств материалов в значительной степени исчерпаны, актуален поиск новых процессов. Принципиально новые перспективы открывает использование концентрированных потоков энергии, в том числе электронно-лучевого (ЭЛ) воздействия.

За последние 20–30 лет в значительной степени раскрыты особенности ЭЛ **переплава, сварки, испарения металлов с осаждения покрытий**. Изучаются методы поверхностной **закалки** сплавов. Однако их промышленное применение требует теоретического и экспериментального изучения процессов взаимодействия луча с материалами, особенностей структурно-фазовых превращений.

## Основные направления исследований

В ФТИ НАН Беларуси на протяжении нескольких десятилетий проводятся исследования возможностей использования ЭЛ нагрева для получения неразъемных соединений и модифицирования материалов. Исследуются методы обработки и разрабатываются для нужд предприятий технологии сварки, пайки, поверхностного упрочнения, рафинирующего переплава дорогостоящих металлов и сплавов.

При реализации методов ЭЛ модифицирования материалов, в зависимости от условий эксплуатации изделий, может проводиться поверхностное упрочнение без изменения химического состава материала основы (стали, титанового сплава и др.), а также с одновременным или предварительным нанесением на основу слоя с отличным от основы химическим составом.

При получении неразъемных соединений могут быть получены такие детали, которые, будучи изготовленными из однородных (например, из одной марки стали) или разнородных материалов (детали из разных марок стали или узлы «керамика – металл»), способны противостоять интенсивным внешним воздействиям.

Применяемое для проведения этих процессов оборудование, с одной стороны, — дорогостоящее, а с другой — универсальное. Основными параметрами обработки, которые в совокупности формируют температурное поле в заготовке и определяют характер реализуемого процесса, являются ускоряющее напряжение  $U$ , ток луча  $I$ , удельная мощность  $q$  в месте воздействия луча на материал, длительность нагрева  $t$  или скорость перемещения луча  $V$ . При этом для реализации конкретного метода обработки затрачивается некоторое количество энергии, передаваемой заготовке лучом, что определяется энерговыделением  $Q$ . В таблице представлены основные направления выполняемых в ФТИ исследований с соответствующими значениями параметров (расположены в порядке возрастания характерных значений  $Q$  для обработки одного изделия).

Таблица

Технологические применения

Технолог. применения	Параметры ЭЛ воздействия	Области применения
Закалка поверхности	$U=10-60$ кВ; $q\sim 200-3000$ Вт/см <sup>2</sup> ; $t\sim 1-10$ с; $Q\sim 1-10$ кДж	Машиностроение, инструментальное производство
Пайка СТМ	$U=10-60$ кВ; $q\sim 100-200$ Вт/см <sup>2</sup> ; $t\sim 10-120$ с; $Q\sim 10-20$ кДж	Инструментальное производство
Сварка	$U=60$ кВ; $q\sim 10^4-5\cdot 10^6$ Вт/см <sup>2</sup> ; $V\sim 1-100$ мм/с; $Q\sim 20-500$ кДж	Машиностроение
Наплавка, нанесение покрытий	$U=10-60$ кВ; $q\sim 10^3-5\cdot 10^4$ Вт/см <sup>2</sup> ; $t\sim 1-10$ с; $Q\sim 50-500$ кДж	Формирование износо- и коррозионностойких слоев
Оплавление, переплав	$U=10-60$ кВ; $q\sim 200-2500$ Вт/см <sup>2</sup> ; $t\sim 10-1000$ с; $Q\sim 50-3000$ кДж	Рафинирование металлов, получение сплавов

Большие экономические преимущества могут быть обеспечены при использовании модернизированных серийных ЭЛ установок для реализации широкой гаммы методов обработки матери-

лов путем варьирования основными параметрами источника воздействия, т.е. перечисленные технологии могут быть реализованы на одной ЭЛ установке. В наибольшей степени в настоящее время на предприятиях Беларуси оказались востребованными методы сварки (ЭЛС) металлических материалов.

### Электронно-лучевая сварка

Особенности ЭЛС — это возможность значительного повышения производительности труда, экономия материалов, уменьшение монтажного времени, повышение скорости сварки и экономичности защиты, снижение количества деталей в узле. Надо сказать, что, несмотря на длительное использование технологий ЭЛС отсутствует единая точка зрения на механизм глубокого проплавления. Поэтому изучение процессов ЭЛ обработки находится на острие современной науки, в том числе и материаловедения.

### Преимущества ЭЛС

- Повышение производительности труда до 800%
- Экономия материалов до 30%
- Уменьшение монтажного времени на 40-80%
- Повышение скорости сварки более чем на 100%
- Повышение экономичности защиты до 35 раз
- Снижение количества деталей в узле

Преимущества ЭЛС перед дуговой сваркой (рис. 1) — это энергетическая эффективность, снижение теплового вложения в изделие, возможность кинжального проплавления как тонких, так и толстостенных изделий — до 200 мм для стали и до 300–400 мм для сплавов титана и алюминия за один проход луча (рис. 2).

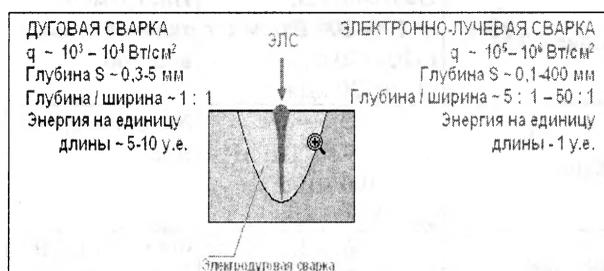


Рис. 1. Сравнение характеристик ЭЛС и дуговой сварки

Отсюда — минимальные деформации детали. ЭЛ обработка, как правило, проводится в вакууме. Габариты рабочих камер определяются размерами деталей и необходимой производительностью. Для сварки корпусов подводных лодок и авиационной техники требуются установки с большой камерой. Самая большая в мире рабочая камера имеет объем 1500 куб. м. Однако применяется и ЭЛС в атмосфере — без вакуума. В этом

случае производительность процесса не ограничивается требованием получения вакуума. Однако из-за рассеяния потока электронов имеется ограничение по толщине свариваемых деталей — до 25 мм (рис. 3).

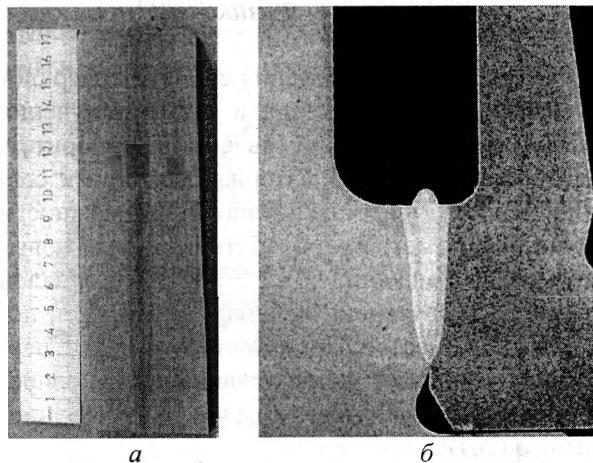


Рис. 2. Соединения ЭЛС в конструкционных сталях, глубина проплавления 170 мм (а), шов ЭЛС в зубчатом колесе, глубина 5,5 мм (б)

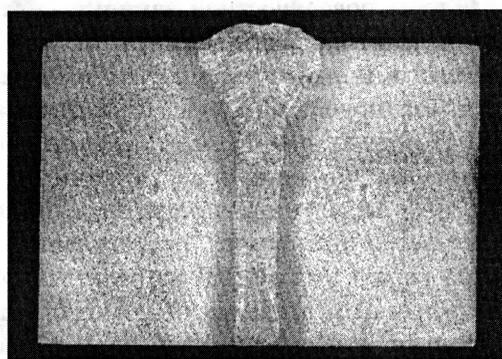


Рис. 3. ЭЛС на воздухе пластины толщиной 25 мм из стали

Основные применения технологий ЭЛС — автомобильная промышленность (до 40% объема сварочного производства выполняется с помощью ЭЛС), авиационная и космическая промышленность, энергомашиностроение, тяжелое и легкое машиностроение, судостроение, точная механика, производство инструмента, приборостроение, электротехника, электроника. Наибольшее количество установок работает в автомобилестроении (рис. 4). Мировой опыт эксплуатации показал, что срок окупаемости ЭЛ оборудования — 1–1,5 года.

В ФТИ создана универсальная лабораторная установка с мощностью луча 15 кВт. Наряду с научными исследованиями, нами совместно с промышленными предприятиями, в частности, «Ам-

кодор-Ударник», Минским тракторным заводом, Минским заводом шестерен и др. изготавливаются детали типа шестерен, валов, что позволяет снижать материалоемкость узлов до 50 %.

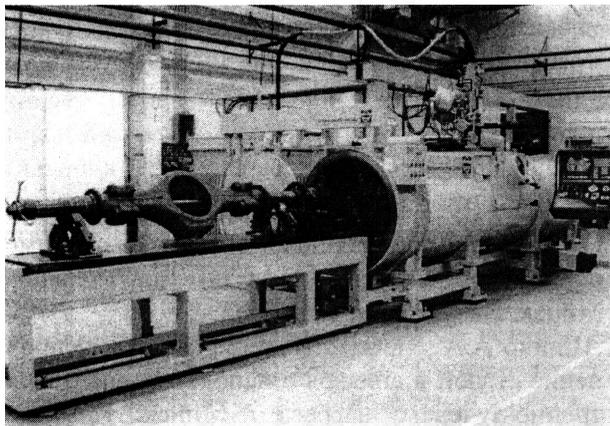


Рис. 4. Установка для ЭЛС корпуса моста грузового автомобиля

На МТЗ, с которым ФТИ давно и тесно сотрудничает по различным направлениям, работы по ЭЛ сварке были начаты около 10 лет назад. Завод начал с двух наименований шестерен, они свариваются на установках типа такт-машин (рис. 5). С течением времени количество наименований шестерен достигло десятка, сварочные операции с этими деталями проводит ФТИ. Сейчас МТЗ принял решение поднять технический уровень своего оборудования и довести его по возможностям до мирового. А это в свою очередь связано и с мировым уровнем стоимости — завод готов заплатить более 500 000 евро за одну установку.

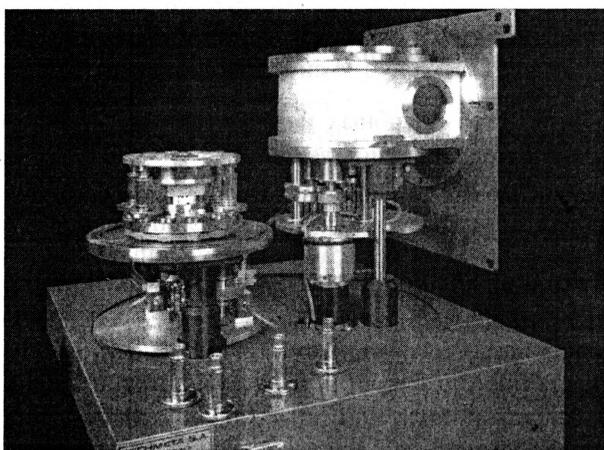


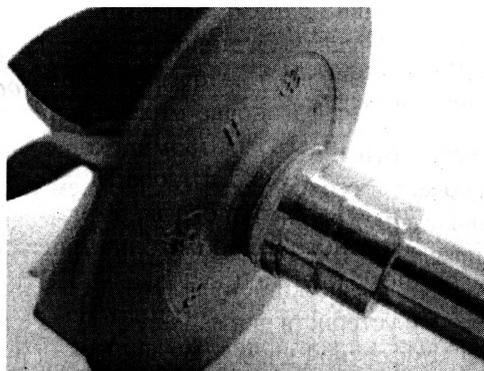
Рис. 5. Установка ЭЛС типа такт-машина

Часто нами в комплексе создаются новые материалы, разрабатываются новые, высокие технологии. Так, совместными усилиями пяти лабораторий ФТИ и работников Минского моторного за-

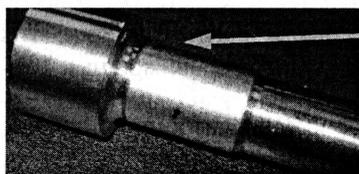
вода разработаны 11 новых технологий, создана гамма отечественных поршней, отвечающих требованиям Евро-3, начата работа по созданию поршня, соответствующего Евро-4.

В числе прочих подтверждена возможность и показаны преимущества изготовления режущего инструмента путем ЭЛ пайки сверхтвердых материалов (КНБ и алмазов) к стальной основе. Такой инструмент показал высокую стойкость при лезвийной обработке высокотвердых материалов. На ММЗ с успехом испытаны высокоэффективные алмазные резцы для обработки пальцевого отверстия и канавок в поршне из сплава Al-Si.

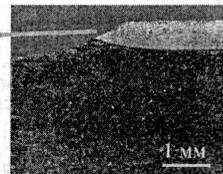
Следующий пример — начавшееся сотрудничество с Борисовским заводом агрегатов. Сейчас в связи с необходимостью создания техники, соответствующей Евро-4 и более высоким требованиям, необходимо разрабатывать новые материалы и технологии, при этом более экономически эффективные. ЭЛ сварка, как показали наши исследования, и это соответствует мировому опыту, является следующим шагом использования высоких технологий для изготовления роторов турбокомпрессоров (рис. 6). При этом с помощью одного ЭЛ источника выполняется сварка, отпуск для снятия сварочных напряжений и закалка посадочного места подшипника на валу. ЭЛС обеспечивает высокую прочность, надежность и повторяемость процесса. Стоимость работ значительно снижается по сравнению со сваркой трением. Не требуются печи, установка закалки ТВЧ. Процесс обработки может быть полностью автоматизирован.



а



б



в

Рис. 6. Ротор турбокомпрессора после ЭЛС (а), вал ротора после ЭЛ закалки поверхности (б и в)

**Что дальше?**

Возможности получения соединений на установке ФТИ ограничены небольшими габаритами рабочей камеры. Вместе с тем, ряд предприятий имеет широкую номенклатуру крупногабаритных изделий, для изготовления которых перспективно использование ЭЛ сварки и упрочнения. Поступают запросы по разработке технологий ЭЛС и изготовлению изделий от зарубежных заказчиков.

Мы пришли к выводу, что для дальнейшего движения необходимо выполнить достаточно серьезные капитальные вложения по изготовлению крупногабаритного вакуумного оборудования. Нарботанный нами опыт сотрудничества в этой области с более чем 10-ю предприятиями, позволяет смотреть с оптимизмом в будущее развития ЭЛ технологий. Совместно с *ПО «БелАЗ»* и *ОАО «Белкард»* предполагается изготавливать с применением ЭЛС детали с размерами до 1 м и более. Это даст возможность существенно снизить материалоемкость и стоимость продукции.

Ввиду достаточно высокой стоимости установок для ЭЛС целесообразно создание специализированного производства, на котором квалифи-

цированный персонал разрабатывает технологические процессы и выполняет заказы промышленных предприятий. Такую функцию взял на себя ФТИ НАН Беларуси, выполняя поисковые исследования и разрабатывая новые технологии. В перспективе ФТИ может полностью обеспечить потребности многих предприятий Беларуси в услугах по ЭЛС.

*Литература*

1. Белый А.В., Макушок Е.М., Поболь И.Л. Поверхностная упрочняющая обработка с применением концентрированных потоков энергии / Минск: Наука і тэхніка, 1990. – 79 с.
2. Шипко А.А., Поболь И.Л., Урбан И.Г. Упрочнение сталей и сплавов с использованием электронно-лучевого нагрева / Минск: Наука і тэхніка, 1995. – 280 с.
3. Алехнович В.Н. Алифанов А.В., Гордиенко А.И., Поболь И.Л. Электронно-лучевая обработка материалов / Минск: Белорус. наука, 2006. – 319 с.

## **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ СОПРОТИВЛЕНИЯ**

*Волков Н.Н.*

*Витебский завод радиодеталей «Монолит»*

Разработка относится к наукоемким производствам, включает в себя значительный объем исследовательских, конструкторских и технологических работ, направленных на создание энергоэффективного пожаро- и экологически безопасного нагревательного элемента и устройств для нагрева воздуха с целью создания комфортной климатической среды в помещениях. В настоящее время полностью отработана технология производства терморезисторов, освоено производство нагревательных регистров, тепловых панелей, бытовых тепловентиляторов, мощных промышленных тепловентиляторов, канальных нагревателей и подпотолочных воздушноотопительных агрегатов. Ожидаемая экономия электроэнергии от внедрения осваиваемых изделий взамен устройств на традиционных электронагревателях от 17 до 30%.

Производство подобных нагревательных элементов является в стране единственным.

На предприятии освоена технология производства терморезисторов с положительным температурным коэффициентом сопротивления (РТС) и различных нагревательных устройств с их применением. Базовым элементом нагревательных устройств является регистр, построенный на терморезисторах с элементами, эффективно отводящими тепло. При использовании различных типоразмеров регистров, набираются практически любые размеры тепловых панелей, которые могут быть встроены в системы конвективного нагрева воздушной среды, причем КПД системы повышается с увеличением производительности воздушного потока, проходящего через тепловую панель