

УДК 537.533.621.384

## **ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

П. В. Ковалёва, Н. Н. Колбик

Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П.О. Сухого»,  
г. Гомель, Республика Беларусь

Традиционные методы получения деталей сложной формы (например, механическая обработка точением и фрезерованием), хотя и остаются массовыми, но являются материало- и энергозатратными, что обуславливает стремление развивать новые технологии формирования изделий. Широкое распространение методов, позволяющих изменять свойства изделия за счет добавления дополнительных слоев материала (наплавка, нанесение покрытий различного функционального назначения с применением концентрированных потоков энергии), обеспечило расширение функциональных возможностей деталей и инструмента [1]. В последнее время интенсивно развивается электронно-лучевая обработка (ЭЛО) металлов, приводящее к их нагреву, плавлению и испарению, как новое технологическое направление в области их обработки.

При реализации методов ЭЛО, 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

Сущность процесса электронно-лучевой обработки состоит в том, что кинетическая энергия сформированного в вакууме тем или иным способом электронного пучка (импульсного или непрерывного) превращается в тепловую в зоне обработки. Так как диапазоны мощности и концентрации энергии в луче велики, то практически возможно получение всех видов термического воздействия на материалы: нагрев до заданных температур, плавления и испарения с очень высокими скоростями [2].

При осуществлении всех электронно-лучевых процессов электронный пучок используют в качестве энергоносителя, который в

соответствующем виде воздействует на обрабатываемый материал. Пучок генерируется в электронной пушке и через выходное отверстие пушки выводится в технологическую вакуумную камеру. В ней размещены или в неё вводятся объекты электронно-лучевого процесса - заготовки или материалы.

При встрече электронного пучка с веществом кинетическая энергия электронов пучка взаимодействующих с атомами вещества, в результате ряда элементарных процессов превращается в другие формы энергии. При сварке, плавке, испарении и термической обработке используется возникающая при этом тепловая энергия. При нетермической обработке и других процессах химической электронно-лучевой технологии столкновения электронов пучка с атомами и молекулами возбуждают и ионизируют последние, вызывая химические реакции между ними. Эти эффекты воздействия электронного пучка на вещество и определяет области электронно-лучевой технологии [3, 4].

В настоящее время во всем мире ни одна отрасль промышленности, связанная с получением соединений и обработкой материалов, не обходится без электронно-лучевого нагрева. Это можно объяснить характерными преимуществами метода, главными из которых являются возможность концентрации энергии от  $10^3$  до  $5 \cdot 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>, т. е. во всем диапазоне термического воздействия, ведение процесса в вакууме, что обеспечивает чистоту обрабатываемого материала, а также возможность полной автоматизации процесса. В основном электронно-лучевая технология развивается в трех направлениях: плавки испарении в вакууме, сварки и прецизионной обработки [5].

Электронно-лучевая обработка материалов (ЭЛО) представляет собой передовую технологию, применяемую в различных отраслях, таких как металлургия, микроэлектроника и медицинская техника. Однако, как и любая сложная технология, ЭЛО сталкивается с рядом проблем:

Высокие капитальные затраты на оборудование.

Электронно-лучевые установки являются высокотехнологичными и дорогими в приобретении и обслуживании. Это создает барьеры для небольших предприятий, желающих внедрить эту технологию.

2. Техническая сложность.

Настройка и эксплуатация ЭЛО требуют квалифицированного персонала. Недостаток специалистов может стать серьезным ограничением для многих компаний.

3. Безопасность.

Использование электрона и высоких энергий подразумевает определенные риски. Необходимость соблюдения строгих мер безопасности может удорожать процесс и усложнять его внедрение.

4. Проблемы с качеством.

Одной из основных задач в ЭЛО является достижение однородности обработки. Часто возникают сложности в контроле качества обрабатываемых материалов, что может приводить к дефектам.

#### 5. Экологические аспекты

Некоторые процессы, связанные с ЭЛО, могут вызывать негативное воздействие на окружающую среду. Необходима правильная утилизация отходов и контроль за выбросами.

Несмотря на такое количество проблем данного метода обработки, для них также есть возможные решения:

Инвестиции и финансирование.

Государственные программы и частные инвестиции могут помочь предприятиям приобретать и модернизировать электронно-лучевые установки. Субсидии или льготные кредиты могут облегчить финансовую нагрузку.

Обучение и повышение квалификации кадров.

Внедрение программ обучения и повышения квалификации позволит обеспечить предприятия квалифицированными специалистами, способными эффективно управлять процессами ЭЛО.

Разработка безопасных методов работы.

Создание протоколов безопасности, использование современного оборудования с защитными системами и автоматизация процессов могут существенно снизить риски, связанные с работой с электронными лучами.

Контроль и стандартизация процессов.

Внедрение современных методов контроля качества, таких как автоматизированная диагностика и мониторинг, поможет добиться более высокой однородности и надежности обработки.

Экологичные технологии.

Разработка и внедрение экологически чистых процессов и технологий утилизации отходов помогут снизить негативное воздействие на окружающую среду. Использование альтернативных материалов также может служить решением этой проблемы.

Подводя итоги всего вышесказанного можно сделать вывод, что электронно-лучевая обработка - это перспективная технология с огромным потенциалом, но и с рядом значительных проблем. Решение этих проблем требует комплексного подхода, включающего инвестиции, обучение кадров, разработку безопасных методов работы, стандартизацию процессов и внимание к экологическим аспектам. В долгосрочной перспективе успешное внедрение может значительно улучшить качество и производительность многих процессов, открывая новые горизонты для промышленности и науки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Залесский В. Г., Поболь И. Л., Бакиновский А. А., Губко А. Д., Получение металлических изделий с применением электронно-лучевых аддитивных технологий // Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь. – 2017. – С. 2.
2. Гордиенко Л. И., Поболь И. Л., Проблемы развития электронно-лучевых технологий в Беларуси / Физико-технический институт НАН Беларуси // Разработки ученых и специалистов – С. 12.
3. Солдатенко П. Н., Голубев Ю. П., Электронно-лучевые технологии как универсальный технологический инструмент // Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой.- С.3.
4. Поболь И. Л., Состояние электронно-лучевой обработки материалов/ Оборудование и технология // Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь. – 2007. С.1.
5. Рыкалин Н. Н. Основы электронно-лучевой обработки материалов / Н. Н. Рыкалин, И. В. Зуев, А. А. Углов. – М. : Машиностроение, 1978. – С.1.