

Разработка технологии электронно-лучевой и лазерной обработки металлических материалов для создания крупногабаритных конструкций в судостроении и сложнопрофильных изделий в ракетостроении - актуальнейшая задача государственного масштаба, решение которой позволит повысить надежность и ресурс специальной техники за счет создания отечественного технологического оборудования и надежных методов управления структурой и свойствами материалов изделий, базирующихся на результатах фундаментальных исследований и современных технологических разработках.



Результаты работ, выполненных при создании уникального роботизированного оборудования и комплекса электронно-лучевых и лазерных технологий, обеспечивающих выпуск элементов специальной техники для проектов «Борей», «Борей-А», «Ясень» и буровой установки «Арктическая» позволят создать конкурентоспособные образцы новой техники и технологическую базу для развития различных отраслей промышленности России (энергетики, авиакосмической промышленности и др.).

Разработка электронно-лучевых и лазерных технологий для производства деталей и узлов специальной техники потребовала реализации **новых наукоемких технических решений**, направленных на повышение качества изделий и обеспечивших выполнение жестких требований по безопасности и надежности, предъявленных к судовым конструкциям.

**Научно-техническая новизна** комплекса научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, примененных в процессе создания технологий электронно-лучевой и лазерной обработки металлических материалов для производства конструкций специальной техники, заключается в следующем:

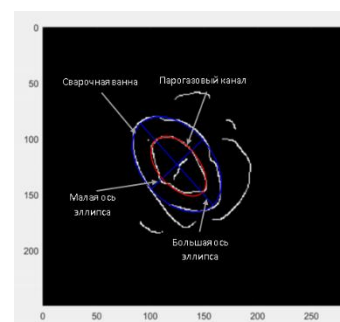
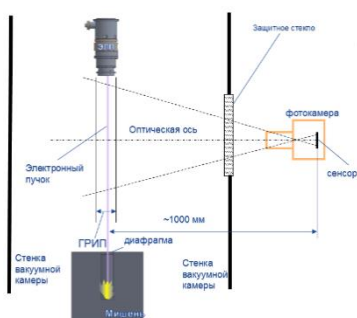
**1) впервые создан и внедрен уникальный роботизированный комплекс мощностью 60 кВт для электронно-лучевой обработки крупногабаритных**



**толстостенных конструкций** с поперечными размерами до 10 м с современной цифровой системой управления, обеспечивающий высокий уровень автоматизации и безопасности при выполнении работ, который позволил проводить обработку в различных пространственных положениях элементов специальной техники для проектов «Борей», «Борей-А»,

«Ясень» и буровой установки «Арктическая»;

**2) впервые на отечественных электронно-лучевых установках реализован инновационный метод и оборудование для определения пространственно-временных параметров электронного пучка**, позволивший существенно расширить доступный для диагностики диапазон плотности мощности пучка до  $2 \cdot 10^{10}$  Вт/м<sup>2</sup> с разрешением до 10 мкм и при однократном измерении повысить точность определения параметров пучков не только в зоне его взаимодействия с материа-



лом, но и в пространстве дрейфа электронов;

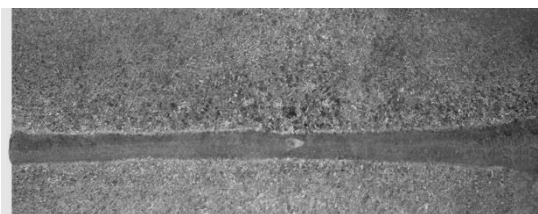
**3) впервые на отечественных электронно-лучевых установках применены новые схмотехнические, конструкторские и программные решения для создания стабилизированного высоковольтного источника электропитания с выходным напряжением 60 кВ мощностью 60 кВт с интеллектуальной системой**

управления, обеспечивающей программное управление технологическими процессами как при прямом, так и при косвенном подогреве катода;

**4) впервые создана совмещенная электронно-оптическая система фокусировки и перемещения пучка**, позволяющая стабилизировать плотность тока при параллельном переносе по заданной траектории сфокусированного электронного пучка мощностью до 60 кВт и обеспечивающая в фокальной плоскости на рабочем отрезке не менее 500 мм минимальный диаметр пучка не более 1,5 мм;

**5) впервые разработан комплекс научно-обоснованных технических и технологических решений** для рационального построения технологических процессов изготовления комбинированных конструкций из разнородных сталей, предложены методики выбора материалов и режимов обработки, позволяющие существенно снижать степень химической, структурной и механической неоднородности изделий, а также обеспечивать требуемые эксплуатационные характеристики комбинированных конструкций;

**6) создана уникальная методика** определения энергетических параметров



электронного луча при его использовании в режиме глубокого проплавления металлических материалов толщиной до 150 мм в различных пространственных положениях, а

также при использовании дополнительного источника теплоты (дугового разряда с полым катодом), который повышает устойчивость расплавленного металла против вытекания в широком диапазоне режимов, выступая в роли активного формирователя;



**7) впервые разработана технология и оборудование прямого лазерного выращивания корпусов ракет из титановых сплавов** что позволяет по сравнению с традиционными технологиями увеличить производительность изготовления корпусов

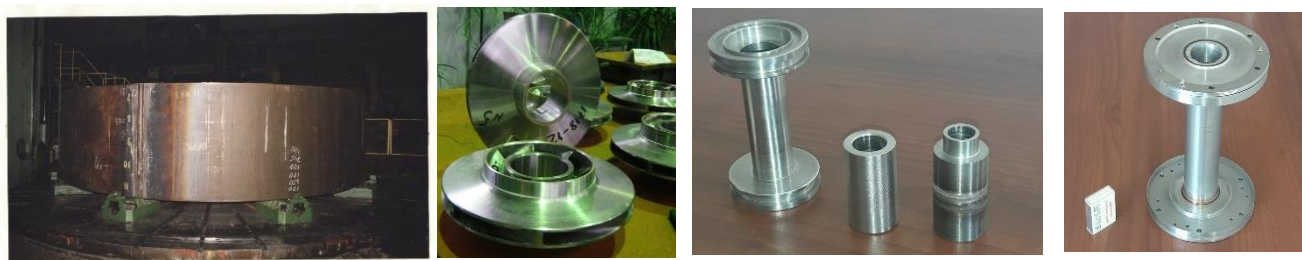
ракет в 4-5 раз и увеличить коэффициент использования титана в 3-4 раза;

**8) существенно повышены эксплуатационные характеристики изделий**, за счет повышения механических свойств соединений по сравнению с соединениями, полученными традиционными способами, например, прочность соединений титановых сплавов толщиной до 150 мм обеспечивается на уровне основных материалов, а сталей - не ниже 85 % от прочности основных материалов;

**8) значительно повышена экологическая безопасность** в сравнении с традиционными технологическими процессами изготовления изделий специальной техники за счет применения вакуумных камер и насосных станций с современными системами очистки, обеспечивающих максимальное сокращение выброса аэрозолей и газообразных отходов;

**9) впервые в отечественном производстве** крупногабаритных конструкций в судостроении и сложнопрофильных изделий в ракетостроении разработаны и применены наукоемкие технологии моделирования оборудования и технологических процессов электронно-лучевой и лазерной обработки металлических материалов, позволившие заменить затратные натурные испытания численным экспериментом.

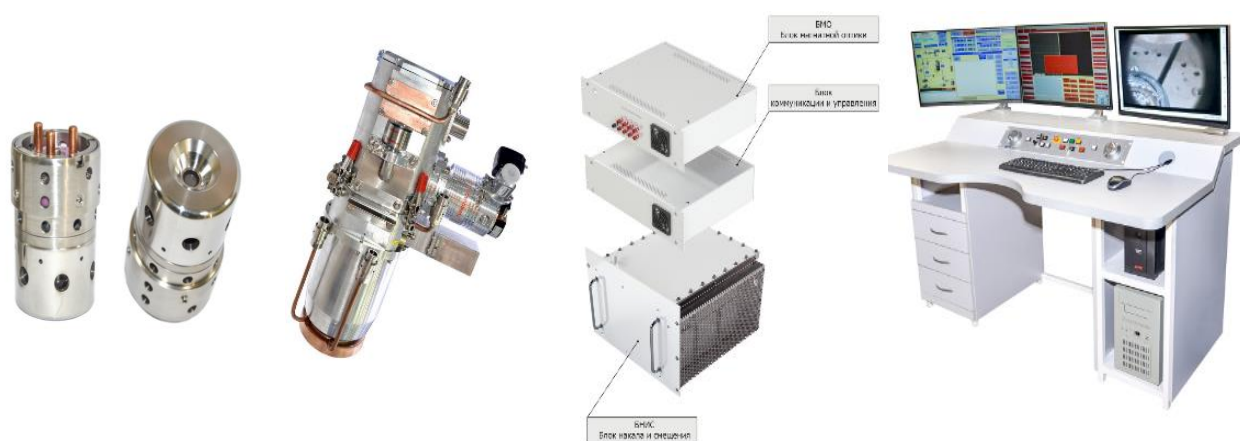
**Решена важная научно-практическая задача государственного значения**, которая заключается в разработке технологий изготовления из сталей обечаек оснований буровой установки «Арктическая», валов дисковых муфт, каркасов катушек и т.п для нефтегазового оборудования, а также из титановых сплавов - блоков амортизаторов ГРДК для заказов проекта «Борей» и «Борей -А», капсул ГАК для кораблей проекта «Ясень», корпусов фильтров ионитных и т.п. Общая программа выпуска за 10 лет составляет более 5000 изделий в том числе





уникальных, которые возможно создать только с применением электронно-лучевых и лазерных технологий.

В процессе создания оборудования и технологий обработки материалов концентрированными потоками энергии для производства конструкций специальной техники *своевременно решена задача импортозамещения и технологического суверенитета*: на предприятиях России освоено производство электронно-лучевых пушек, источников питания с ускоряющим напряжением 60 кВ, а также в целом электронно-лучевых комплексов с интеллектуальными система-



ми управления на производственных площадях ОАО «НИТИ «Прогресс».

*Стратегический и политический эффект* от внедрения результатов работы связан с реализацией важных государственных проектов оборонного назначения и освоения Арктики. Кроме того, в соответствии со Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации практические приложения результатов работы заключаются в создании условий, способствующих внедрению новых технологических процессов на отечественных предприятиях и устойчивому положению России на внешнем рынке. Размещение интеллектуального производства на площадях акционерного общества «Производственное объединение «Северное машиностроительное предприятие» создает условия для ускоренного социально-экономического развития г. Северодвинск.

*Суммарный экономический эффект от реализации проекта* составляет 12,5 млрд. руб. при достижении требуемых показателей и характеристик созда-

ваемых изделий специальной техники при сравнении с альтернативными технологиями их изготовления. Это связано с тем, что по сравнению с традиционными способами электронно-лучевые и лазерные технологии позволяют повысить производительность процесса в 10...15 раз, снизить расход конструкционных материалов на 10...15%, а сырьевых – на 60...100%, уменьшить потребление электроэнергии на 30...80%, а также сократить время производства конструкций и др.

**Экологический эффект.** Переход к вакуумным технологиям обработки материалов концентрированными источниками энергии, такими как электронный и лазерный пучок полностью соответствует поставленным мировым сообществом целям по резкому сокращению выбросов CO<sub>2</sub> и других вредных соединений. В сравнение с традиционными технологическими процессами при одинаковой программе производства применение электронно-лучевых и лазерных технологий позволило ежегодно предотвращать выбросы в атмосферу защитных газов (CO<sub>2</sub> и Ar), оксидов углерода (CO), азота (NO, NO<sub>2</sub>), а также озона (O<sub>3</sub>), фтористого водорода (HF), тетрафтористого кремния (SiF<sub>4</sub>) и других соединений. Кроме того, значительно снижены выбросы в атмосферу аэрозолей с размером частиц меньше 1 мкм, которые на 80–90 % состоят из двойных оксидов, силикатов, фторидов и прочих сложных соединений элементов. В результате реализации проекта ежегодно предотвращены выбросы в атмосферу в объеме ~ 5000 тонн CO<sub>2</sub> и других соединений.

**Масштабы реализации работ:** в настоящее время введены в промышленную эксплуатацию два роботизированных электронно-лучевых комплекса мощностью 60 кВт с интеллектуальными системами управления и технологи обработки конструкционных материалов, не имеющие аналогов в мире. Результаты выполненного комплекса научно-технических и опытно-конструкторских работ, практический опыт создания производственных участков для электронно-лучевой и лазерной обработки применены в ОАО «Калужский турбинный завод», Новосибирском авиационном заводе имени В.П. Чкалова - филиале ПАО

"Компания "Сухой", ФГУП «Комбинат «Электрохимприбор», АО «Воткинский завод», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», АО «ОКБМ Африкантов», АО «НПО Энергомаш», АО «НИКИЭТ», НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ, АО «Красмаш», ПАО «Туполев» и др.

*Полученные результаты представляют научную и практическую ценность для судостроения и ракетостроения.* В результате выполнения данной работы подготовлено и защищено 5 докторских и 25 кандидатских диссертаций, ценность представленных разработок подтверждена более 65 патентами на изобретения и полезными моделями. Результаты работы прошли апробацию на 55 межотраслевых конференциях и семинарах.

Таким образом, представленная работа отражает научно-технические исследования и опытно-конструкторские разработки по приоритетному направлению развития науки и техники – переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования.