



DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2021.15.2.122.129

# Конференция IX Конгресса Технологической платформы РФ «ФОТОНИКА»: «Лазерные производственные технологии»

Д. В. Трасковецкая

ПАО «НПО «Алмаз» им. академика А.А.Расплетина, Москва, Россия

Представлен краткий обзор научно-технической конференции «Лазерные производственные технологии», которая прошла в рамках IX Конгресса Технологической платформы РФ «ФОТОНИКА». Конгресс сопровождал 15-ю юбилейную Международную специализированную выставку лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. Мир лазеров и оптики-2021». Развитие лазерных производственных технологий осуществляется комплексно: в процессах актуализации нормативной базы, создания усовершенствованного оборудования, написания программного обеспечения и математических моделей физико-химических процессов, освоения технологий и получения новых материалов.

**Ключевые слова:** лазерная сварка, лазерная резка, лазерная наплавка, аддитивные технологии, метаматериалы героидного типа

Статья получена: 07.04.2021

Принята к публикации: 12.04.2021

## IX Congress of the Russian Technology Platform PHOTONICS: the Conference Laser Industrial Technologies

D. V. Traskovetskaya

JSC NPO Almaz named after A.A. Raspletin, Moscow, Russia

A brief overview of the scientific and technical conference "Laser Industrial Technologies" is presented. It took place in the framework of the IX Congress of the Technology platform of the Russian Federation "PHOTONICS". The Congress accompanied the 15th Anniversary International Specialized Exhibition of Laser, Optical and Optoelectronic Technology "Photonics. World of Lasers and Optics-2021". The development of laser industrial technologies is carried out in an integrated manner: it is in the processes of updating the regulatory framework, creating improved equipment, writing software and mathematical models of physical and chemical processes, mastering technologies and obtaining new materials.

Key words: laser welding, laser cutting, laser cladding, additive technologies, gearoid type metamaterials

Received: 07.04.2021

Accepted: 12.04.2021

**В** Москве с 30 марта по 2 апреля в ЦВК «Экспоцентр» прошла 15-я юбилейная Международная специализированная выставка лазерной, оптической и оптоэлектронной техники

«Фотоника. Мир лазеров и оптики-2021». Организатор выставки – АО «Экспоцентр» совместно с Международной научно-технической организацией «Лазерная ассоциация» (ЛАС). Выставка прошла



при поддержке EPIC (European Photonics Industry Consortium), Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь, под патронажем Торгово-промышленной палаты Российской Федерации.

Участники экспозиции представили источники лазерного излучения и их комплектующие, оптические материалы и технологии их обработки, оптоволоконные устройства и системы, промышленную лазерную технику, оптические покрытия и оборудование для их нанесения, а также инструменты контроля оптических параметров, оптоэлектронные системы и комплексы и другие виды оборудования.

Выставку сопровождала Деловая программа, в рамках которой прошла научно-практическая конференция «Лазерные производственные технологии» IX Конгресса Технологической платформы РФ «ФОТОНИКА». Председательствовал на конференции д. т. н. Глеб Андреевич Туричин, научный руководитель Лазерного центра судостроения АО «ЦТСС», ректор СПбГМТУ. Доклады конференции от ведущих специалистов охватили традиционные темы промышленной фотоники: от физики взаимодействия излучения с веществом и математического моделирования лучевых технологий до вопросов практического применения лазерных и электронных пучков.

Открыл мероприятие доклад «Отчет о результатах работы Рабочей группы 3 Технологической платформы «Фотоника» в 2019–2020 годах» Н. А. Степенковой (АО «ЦТСС»). Она информировала участников конференции о том, что в настоящее время в составе третьей рабочей группы числятся 26 членов, которые представляют вузы и предприятия-производители лазерного оборудования. Из анализа, проведенного докладчиком, видно, что в 2020 году было представлено более 30 публика-

ций в различных журналах и веб-конференциях. Благодаря работам над легализацией лазерных технологий за последние два года увидел свет ряд государственных стандартов по технологиям лазерной обработки металлических материалов. Актуальная информация касалась того факта, что аддитивные технологии включены в правила Морского регистра судоходства как технологический процесс. Помимо признания аддитивных технологий классификационным сообществом, наблюдается курс на внедрение отечественных лазерных технологий.

О внедрении в практику аддитивных технологий и лазерной сварки рассказал в докладе «Разработка научных основ создания принципиально новых высокопрочных функционально-градиентных гетерогенных материалов методами лазерной сварки и аддитивных технологий» А. Г. Маликов (ИТПМ СО РАН). Из выступления слушатели получили следующую информацию. Эксперименты с волоконным лазером позволили исследовать технологию лазерной сварки, резки металлов, аддитивные технологии. Эти вопросы актуальны и в лазерной микрометаллургии, где при взаимодействии лазерного излучения с веществом происходят неравновесные процессы, и в аддитивных технологиях, когда лазерная сварка влияет на структуру материала металла. Установка, на которой проходили испытания, относится к классу «Мегасайенс» и делает возможным изучение структуры материалов, фазового состава сварного шва при помощи синхротронного излучения (так называемый жесткий рентген) на основании снимаемых диаграмм. Структура рассматривается на наноуровне, где визуализируется заметное отличие сварного шва от основного металла.

Фазовый состав сварного соединения принципиально отличается от фазового состава основного





материала. Например, в алюминий-магний-литиевых сплавах упрочняющая фаза исчезает, в то время как в медных сплавах наблюдается большое количество упрочняющей фазы. Оптимальная посттермообработка приводит к восстановлению структурно-фазового состояния сварного шва, что подтверждается независимыми методами, например просвечивающей электронной микроскопией.

Реализован замкнутый цикл фазовых превращений для современных алюминий-литиевых сплавов – их фазовый состав полностью восстановлен, внутри сформированы кластеры упрочняющей фазы. Впервые получена прочность на уровне прочности основных материалов для всех исследуемых алюминий-литиевых сплавов, в том числе Д16Т.

Интересно, что для сплава АМг6, ввиду отсутствия в нем упрочняющих фаз, сразу варятся равнопрочные сварные швы, таким образом упрочнение происходит за счет самого магния. В целом при использовании высококачественных сплавов, где есть упрочняющие фазы, необходимо обязательно применять термообработку.

В технологии лазерной сварки уровень прочности сварного шва должен быть на уровне прочности основного материала. Это обеспечивается оптимизацией лазерного воздействия на вещество, постобработкой сварного шва. Для получения оптимальных условий сварки беспористого сварного шва сварку необходимо вести в режиме кинжального проплавления.

Известна технология лазерной сварки титановых сплавов, например с применением нанопорошков. Конструкционно титановые сплавы варятся равнопрочными. При статических испытаниях изделие рвется не по шву. Для специалистов актуален вопрос проведения циклических испытаний. Например, у титановых сплавов примене-

ние упрочнения с помощью электропластической деформации позволяет увеличить практически в три раза количество циклов до разрушения.

Разработана технология воздействия на материал лазерного импульсного периодического излучения на базе CO<sub>2</sub>-лазера. Ее использование позволило получить на базе алюминиево-литиевых сплавов детали с минимальной шероховатостью и повысить циклическую частоту в 2,6 раза по сравнению с использованием для этих целей непрерывного излучения. Результаты испытаний показали, что она эквивалентна количеству циклов при фрезерной обработке материалов. Кроме того, применение для алюминиево-литиевых сплавов постобработки и ее оптимизация в виде процессов закалки и искусственного старения позволяет получать высокопрочные сварные швы.

Разработаны следующие технологии: лазерная сварка нержавеющей стали с титаном, лазерная сварка алюминия с титаном (получены высокопрочные сварные швы), лазерная сварка материалов «будущего» – пористого титана и нержавеющей стали (которые по удельной прочности намного выше классических титановых сплавов).

В области аддитивных технологий наплавляется металлокерамика, что резко отражается на свойствах покрытия. Так, в сплаве ВТ-6 в 6 раз увеличилась износостойкость – это применимо и для никелевых сплавов.

Широкий обзор достижений в области промышленных лазерных технологий для судостроения и смежных отраслей представил Г.А. Туричин в докладе «Лазерные аддитивные и сварочные технологии» (ООО «ИЛИСТ», Санкт-Петербург). Аддитивные технологические приемы находят применение в авиации, космонавтике, специальном автомобилестроении и ремонте. Для судостроения уже получают полые лопасти, литейные формы для



винтов, элементы судовой арматуры. Их выращивают, а не отливают по классическим технологиям. Недавно было освоено производство линейки отечественных водометов (максимальная мощность 1,5 МВт), в которых выращены: рабочие колеса, облицовки, направляющие аппараты, лопаточные элементы с внутренними пустотами и ребрами жесткости. Такая конструкция облегчает рабочее колесо и снижает нагрузки на оси, что увеличивает рабочий ресурс водомета.

Осуществлена технология лазерной сварки компонентов перспективных ракетных двигателей. Освоена технология создания функционально-градиентных материалов, где создаются промежуточные слои, в том числе между трудно свариваемыми материалами для обеспечения устойчивости соединения. Изготавливаются крупногабаритные изделия из разных порошков. Актуальна технология выращивания разнородных изделий, например бронзы и стали. Бронза обеспечивает теплопроводность, а сталь придает изделию хорошие механические свойства. Востребована технология аддитивного изготовления баллонов высокого давления. Выращены компоненты, корпуса, опоры для перспективного двигателя ПД-14. Так получены внешние кольца диаметром более 2 метров. Новым оборудованием являются роботизированные ячейки, у которых два робота манипулируют лазерным пучком от излучателя мощностью 20 киловатт.

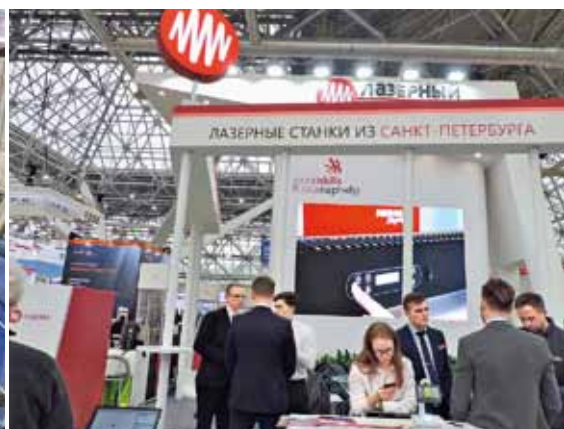
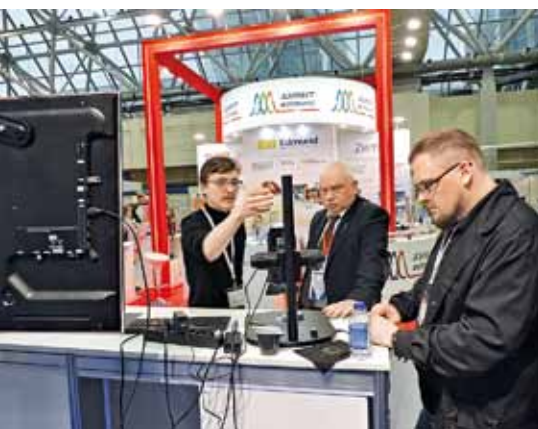
Применяемая система инженерного компьютерного анализа LaserCAD выступает в качестве цифрового двойника промышленных процессов: лазерной сварки, лазерно-дуговой сварки, электронно-лучевой сварки, сварки разнородных материалов с возможностью их синтеза. К 2022 году планируется пополнить этот список аддитивными процессами.

Актуальны проблемы проектирования технологической модели сложного изделия с учетом его деформации в процессе выращивания, а также отсутствие оборудования для выращивания крупногабаритных изделий. В качестве доступной технологии контроля стабильности составов и дефектов изделий, получаемых в ходе аддитивного производства, предлагается использовать томографию.

Решению задач судостроительной отрасли с помощью лазерных промышленных технологий был посвящен доклад «Роль лазерных технологий в цифровой трансформации судостроения», автор Н. А. Носырев (АО «ЦТСС»).

Цель создания цифрового производства – это оптимизация и прослеживаемость всех процессов, начиная от проекта детали, ее расположения на складе и заканчивая сопровождением готового изделия в эксплуатации. В судостроение могут быть интегрированы такие лазерные технологические процессы, как лазерная резка, лазерная сварка, гибридная лазерно-дуговая сварка, лазерная наплавка порошковыми материалами и проволокой, лазерное термоупрочнение, а также аддитивные технологии: прямое лазерное выращивание, ограниченное селективное лазерное сплавление, гибридное формообразование и аддитивное производство из неметаллических материалов элементов литейных форм, неотъемлемых корпусов, оснастки, а также деталей для ремонта изделий. Помимо того производственному процессу должны сопутствовать высокоточные измерения, где будут применимы лазерные трекары, сканеры. А для учета производственных процессов и прослеживаемости жизненного цикла изделия необходима лазерная маркировка и устройство для ее идентификации.

На практике разработаны следующие единицы оборудования, которые возможно интегрировать





в цифровое производство за счет систем управления и качества: машины лазерной резки для судостроения, способные обрабатывать крупногабаритный листовой прокат (от 2×6 м до 4,5×23 м), машины для высокоскоростной прецизионной резки листов (2×8 м), построенные на линейных приводах, комплекс для гибридной лазерно-дуговой сварки стыков полотнища при варке набора главного направления, мобильное оборудование для гибридной лазерно-дуговой сварки, которое позволяет заменять традиционные технологии дуговой сварки.

Лазерная сварка применяется для изготовления изделий судового машиностроения, в том числе элементов теплообменных аппаратов, а также внутренних полостей элементов насосов. Лазерная наплавка может применяться и для создания новых изделий (наплавка бронзовыми сплавами на стальные втулки под запрессовку на гребной вал, взамен литых бронзовых облицовок), и для их восстановления.

Перспективной технологией для судостроительной отрасли является технология прямого лазерного выращивания (DLD) порошковыми материалами и проволокой, позволяющая изготавливать крупногабаритные детали.

Эффективности лазерной ударной обработки был посвящен доклад «Ударная лазерная обработка алюминиевых сплавов», авторы И. Н. Шиганов, Д. М. Мельников, М. В. Мельникова (МГТУ им. Н. Э. Баумана). Лазерная ударная обработка (laser shock peening) – метод упрочнения холодной пластической деформацией для повышения усталостной прочности ответственных изделий, таких как лопатки газотурбинных двигателей. Метод используется при локальной обработке сварных швов. Это особенно актуально при сварке алюминиевых сплавов, где создание поверхностного

локального наклепа позволяет улучшить свойства самого соединения.

Процесс лазерной ударной обработки заключается в лазерной абляции поверхности изделия. Образование и последующее расширение плазменного факела приводит к формированию ударной волны, направленной в глубь изделия. Волна служит источником упрочнения. Технология требует применения ряда покрытий: защитного (во избежание оплавления и сохранения процесса холодным) и жидкой среды (для сдерживания развития факела).

Эффективность лазерной ударной обработки заключается в увеличении глубины и достижения больших величин остаточных сжимающих напряжений, что повышает ресурс работы изделия. Оба показателя и усталостная долговечность после удара лазерной обработки существенно выше, чем, например, после дробеструйной обработки. В то же время метод требует учета различных параметров: лазерного излучения, защитных покрытий и самого образца. Преимущества лазерной обработки – бесконтактность, автоматизация, обработка сложных форм.

Технически метод ударной лазерной обработки реализован в роботизированном лазерном комплексе, в котором излучатель остается неподвижным и фокусировка пучка не требуется. Так как лазерное воздействие по сути является механическим воздействием, то пучок создает «вмятины», которые можно использовать как микроканалы. При нанесении регулярного микрорельефа метод открывает большие возможности по управлению трибологическими свойствами.

Совмещение ударной лазерной обработки с аддитивными процессами – трехмерная лазерная ударная обработка – позволяет управлять напряженным состоянием во время выращивания слоев,



снижая остаточные напряжения. Однако такое оборудование пока остается дорогостоящим.

Специалистам известно, как отсутствие нормативной базы ограничивает возможности внедрения в промышленность эффективных лазерных технологий. Поэтому участники с интересом выслушали выступление специалистов из Екатеринбурга «Состояние нормативной базы, необходимой для практического использования лазерных технологий обработки металлов в промышленности РФ» (авторы С. М. Шанчуров и А. Г. Сухов (ПК8 «Лазерные производственные технологии»)).

Создана перспективная программа разработки национальных ГОСТов на 2018–2022 годы, которая включает в себя стандарты процессов лазерной обработки материалов, резку, сварку, наплавку, термообработку, маркировку, поверхностное легирование и очистку. В настоящее время имеется 22 стандарта, 17 из которых относятся к лазерной и лазерно-дуговой гибридной сварке. 16 стандартов подготовлены на основе перевода международных ISO, EN и идентичны им. Практически на основании всех зарубежных стандартов созданы ГОСТы, однако остается актуальной разработка ряда новых национальных стандартов.

В 2022 году предполагается разработать стандарты на технологические процессы лазерной сварки титановых и алюминиевых сплавов, а также на дефекты и оценку качества поверхности лазерного реза, на технологический процесс лазерной очистки поверхности металлических материалов. На 2022–2025 годы планируются работы по переводу отраслевых стандартов в национальные.

Целесообразна разработка одного ГОСТа-Р на основании нескольких отраслевых стандартов, например, на основе 4 отраслевых стандартов может быть разработан один национальный

стандарт на технологические процессы лазерной сварки, применяемой при производстве электронной и радиоэлектронной техники.

Доклад «Особенности технологий сварки волоконными лазерами IPG» (автор Н. В. Грезев (ООО НТО «ИРЭ-Полюс»)) был посвящен обзору базовых технологий, которые развиваются на основе волоконных лазеров. Технология лазерной сварки производится в среде защитного газа со скоростью до 10 метров в минуту с кинжальным проплавлением. Главная ее особенность – фактически полное прилегание кромок, так как сварное соединение представлено очень узким швом и узкой зоной термического влияния. Сварные соединения получаются практически равнопрочные. С помощью данной технологии возможна сварка конструкций из нержавеющей сталей, алюминиевых и медных сплавов.

Для лазерной сварки с присадочной проволокой применяются технологии Wobble, когда лазерный пучок совершает колебательные движения. На базе этой технологии производят сварку обсадных труб – безмуфтовое соединение скважинных колонн. В буровых условиях (в том числе зимой) к преимуществам этой технологии стоит прибавить высокую скорость сварки (1 метр в минуту) и сборку скважинных колонн за 20–30 секунд. После сварки получается очень мелкая зернистая структура, малая зона термического влияния и практическое отсутствие деформаций конструкции. При сварке меди присадочная проволока забирает на себя излучение, и влияние отражающих свойств меди пропадает, в результате получается сварной шов с повышенной прочностью.

Гибридная лазерная сварка представляет собой добавление дугового источника для смягчения термических циклов, где за один проход с сохранением скорости сварки обеспечиваются необхо-





димые термические циклы в зоне охлаждения. Лазерное излучение и дуговой процесс создают единую жидкую ванну расплава, где лазерный луч увеличивает глубину проплавления. Ударная вязкость гораздо выше, а зоны термического влияния немного больше, чем у классической лазерной сварки. Как итог – в сварном шве отсутствует закалочная структура, что обеспечивает столь необходимую прочность.

Комбинированная сварка способствует сохранению прочностных характеристик сварных соединений: лазерное излучение и дуговой процесс создают два фронта плавления металла. за счет отставания дугового источника.

Удаленная (контактная) лазерная сварка обеспечивает высокие скорости сварки тонкостенных конструкций (с мощностью 10 кВт). Так при одном режиме головка формирует сразу 10 контактных точек за время, меньшее 1 секунды, что на порядок выше времени обычной контактной сварки. Технология применяется в автомобиле- и мостостроении для сварки тонких небольших конструкций и реализована в проекте сварки вагонов метро Москвы.

Разработана технология встраивания интерферометра в оптическую головку для контроля глубины сварного соединения и его качества. Такая система мониторинга лазерной сварки реализует слежение за стыком и зазором (в микрометрах) между головкой и деталью, измеряет глубину проплава, геометрию шва, сигнализирует об отсутствии сквозного проплавления и обеспечивает обратную связь с системой управления лазерным лучом.

В целом лазерные технологии представляют конструкторам больше возможностей при разработке проектов, позволяют не только сваривать классические конструкции, но и проще (чем тра-

диционным методом) изготавливать особые механизмы, например сэндвич-панели.

О лазерных комплексах, реализованных в различных сферах, рассказал Д. Н. Зубков. Его выступление «Применение лазерных комплексов ИРС, производства НТО «ИРЭ-Полус» в российской промышленности» было посвящено обзору применений при комплексном оснащении предприятий. Были представлены порталные системы гибридной сварки для трубостроительной области, система со сменой инструментов для обработки габаритных волов (наплавка и термоупрочнение), система по орбитальной сварке обсадных труб (безмуфтовое герметичное соединение), комплекс электросварных нержавеющей труб и профилей для фармацевтики. Показано, что комплексы охватывают практически все толщины номенклатуры труб.

Новыми продуктами этого года являются компактная система ручной лазерной сварки и система для обработки тел вращения на интегрированном российском ПО.

Выступление «Современное состояние и перспективы решения практических вопросов обеспечения лазерной безопасности» (докладчик О. А. Крючина (МГТУ им. Н. Э. Баумана) было посвящено обновлению нормативной базы и актуализации современных терминов в области лазерных технологий. В настоящее время в области лазерной безопасности действует два нормативных документа – СанПиН 1.2.3685-21 и СП 2.2.3670-20. Однако требования к проектированию и эксплуатации лазеров представлены в стандартах 2007, 2012, 2013 годов, некоторые из которых разработаны на основе стандартов IEC, EN, ISO. В том числе в ГОСТ IEC 60825-4-2014 «Безопасность лазерной аппаратуры...» введен новый класс опасности. В перечисленных документах наблюдаются





противоречия, в их числе – отличие знаков опасности. Предлагается ввести категорирование лазерных изделий по степени опасности (безопасные и опасные лазерные установки). Это позволит на основании регламентирующих документов рассматривать вопросы защиты персонала, определять условия, когда требуется ставить защитные кабины, когда использовать средства локальной либо индивидуальной защиты от лазерного излучения.

Представитель петербургской компании «ЛЛС» Н. Сальников в докладе «Лазерная маркировка в производстве» сделал обзор методов лазерной маркировки. Он подчеркнул ее преимущества перед традиционными методами в высокой скорости маркировки (до 500 символов в секунду), в высоком разрешении (1000 dpi) и точности нанесения знаков (0,01 мм). Докладчик показал, что при маркировке УФ-лазером удается получить более контрастное изображение на полимерах. Более того, использование УФ-лазера позволяет избежать эффекта плавления, разрушения и карбонизации. В список маркируемых им материалов вошли бумага, печатные платы, цветные и черные пластики, композиты.

Специалист отдела лазерной обработки материалов АО «ЛЛС» Лукьянцев М. рассказал о станках лазерной резки производителя HSG. Было рассказано об успешном применении оборудования для обработки листового металла и труб в отечественной промышленности, а также об особенностях процесса лазерного раскроя.

Об отечественной установке для аддитивного производства, продемонстрировавшей высокие производственные показатели, участникам конференции рассказал В.А.Тимофеев (АО «Лазерные системы», С-Пб). Название доклада говорит само за себя: «Аддитивное оборудование селективного лазерного сплавления производства АО «Лазерные системы». Результаты. Опыт внедрения».

В настоящее время компания разработала два типа установок: M250 и M350, отличающиеся объемами камер построения. Обе установки защищены различными патентами и авторскими свидетельствами.

Были отработаны режимы выращивания многих сплавов, в их числе нержавеющие стали (12X18H10T, AISI 316l и пр.), жаропрочные сплавы (ЭП 648, инконель 625, инконель 718), алюминиевые, никелевые, кобальт-хромовые, титановые и медные сплавы. Выращены сопловые лопатки со сквозными каналами, где размер минимального элемента составил 0,2 мм. Из алюминиевых спла-

вов отработан режим выращивания объектов сложных форм – волноводов, где среднеквадратичное отклонение от математической модели по всей поверхности составило 0,155мм, при том, что вся конструкция имеет размер порядка 200 мм.

Возможности создания метаповерхностей с помощью SLM-технологии были рассмотрены в следующем докладе, представляющем также разработки компании АО «Лазерные системы» – «Практические аспекты создания металлического метаматериала героидного типа методом селективного лазерного сплавления», автор А.В. Савин. Метод позволяет получать метаматериалы с масштабами структуры до 200 мкм.

Для анализа всех параметров печати необходимо иметь цикл математических моделей многоуровневого характера, что позволит обрабатывать различные характеристики виртуально. Например исследовать зависимость свойств получаемого материала от параметров рабочих режимов. Математическое моделирование рабочих процессов в SLM-методе позволяет верифицировать режимы выращивания. Совокупность моделей выращивания метаматериалов SLM-технологией представляет собой подобие цифрового двойника SLM-машины.

Создана аналитическая форма описания микроструктуры героида, что повышает производительность подготовки производства изделий. Ядром построенной математической модели является теплофизическая модель, отражающая процесс плавления лазером порошка и формирования структуры. Важная роль отведена газодинамической части модели, которая отражает продувку, поддержание газовой атмосферы, охлаждение с дисперсной фазы, состояние плазмы, которая должна уноситься из места очага плавления с целью предотвращения ее влияния на локализацию лазерного пятна.

Из обзора докладов удалось получить картину современного состояния отечественной науки и индустрии в области лучевых технологий: от изучения процессов взаимодействия излучения с веществом, включая моделирование процессов, до промышленных результатов.

### АВТОР

Трасковецкая Дарья Вячеславовна, dashatraskovetskaja@yandex.ru, инженер,  
ПАО «НПО «Алмаз» им. академика А.А. Расплетина, Москва, Россия

### ABOUT AUTHOR

Darya Traskovetskaya, dashatraskovetskaja@yandex.ru, engineer,  
JSC NPO Almaz named after A. A. Raspletin, Moscow, Russia



# ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ОТ ВЕДУЩЕГО ПРОИЗВОДИТЕЛЯ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ

Градиентная линза **IPG-GRL-18-55-048** - оптический элемент в виде цилиндра с плоскими полированными торцами. Градиентная линза является основой современных микрооптических устройств, предназначенных для фокусировки и коллимации излучения, передачи и трансформации изображения.



**ПРАКТИЧЕСКОЕ ОТСУТСТВИЕ  
СФЕРИЧЕСКИХ АБЕРРАЦИЙ**

СМОТРИТЕ ТАКЖЕ:

**Лазерные диоды** с волоконным выходом являются основным компонентом большинства волоконных лазеров, используются для накачки активной среды. Доступны диоды мощностью от 10 до 60 Вт с длиной волны в диапазоне 940–980 нм.

**Акустооптические кристаллы**  $\text{TeO}_2$  высокой чистоты для создания дефлекторов, фильтров и модуляторов. Компоненты из кристаллов собственного производства могут быть изготовлены в необходимой конфигурации по Вашему чертежу.

**НТО "ИРЭ-Полюс"** производит и другие компоненты, включая волоконные брэгговские решетки, объединители, ответвители, активное волокно и т.д.

Многообразная технологическая база позволяет полностью самостоятельно осуществлять полный цикл производства всех компонентов. Обратитесь в наш отдел продаж, и мы поможем Вам подобрать оптимальное решение для Вашей задачи.



# ОБНОВЛЕННАЯ ЛИНЕЙКА УКИ ЛАЗЕРОВ

Нано-, пико- и фемтосекундные лазеры IPG: НТО «ИРЭ-Полус» расширяет свою линейку импульсных лазеров, увеличивая диапазон доступных длин волн, средних и пиковых мощностей, а также частотных режимов.

- Длины волн **1030, 532 и 355 нм**
- До **1000 Вт** средней выходной мощности
- Система в сборе со сканаторной головкой и контроллером



**ИДЕАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ  
ДЛЯ НАУЧНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ**

СМОТРИТЕ ТАКЖЕ:

## Мощные промышленные волоконные лазеры

Инновационная линейка лазеров IPG серии **YLS-U** и **YLR-U**. Лазеры серии **U** обеспечивают среднюю мощность до 10 кВт в наименьшем форм-факторе, доступном на рынке.

- Опция **HighPeakPower (HPP)** кратковременного повышения мощности выше номинальной для идеальной врезки и точечной сварки
- Система **BackReflectionSafety** для безопасной обработки высокоотражающих материалов
- Гарантия **3 года** с возможностью расширения до 7 лет
- Высокий КПД – **более 40%** «от розетки»

+7 (496) 255 74 46; sales@ntoire-polus.ru

[www.ipgphotonics.com](http://www.ipgphotonics.com)

