

— разработка процесса лазерной пайки металлов с керамикой, изготовление оборудования и разработка технологии пайки герметичных вводов для агрегатов АЭС;

— разработка подвижной лазерной установки для утилизации негабаритных сооружений;

— разработка технологии и создание лазера для нанесения специальной маркировки на изделия из прозрачных материалов;

— разработка лазерной установки и специальной технологии дезактивации мин и других взрывчатых элементов;

— создание лазерного комплекса и разработка технологии устранения поверхностных дефектов изделий кожевенной промышленности;

— разработка технологии и оборудования для изготовления деталей из композиционных материалов непрерывным лазерным излучением.

При выполнении проектных работ особое внимание уделяется современным инженерным коммуникациям, удовлетворяющим всем стандартам и правилам, мероприятиям по повышению эстетики и культуры производ-

ства, в том числе для демонстрации производственных участков в таком состоянии, которое наиболее благоприятно воздействует на органы чувств и психологическое состояние работника.

Московский центр лазерных технологий — инновационная организация, которая обладает большим опытом и имеет современное технологическое и исследовательское оборудование. Это позволяет создавать лазерные технологии и проводить исследования для решения технологических проблем предприятий, подбирать или разрабатывать разнообразные лазерные технологические комплексы под конкретный технологический процесс для внедрения и модернизации производства, осуществлять подготовку и переподготовку инженеров высшей квалификации и операторов для последующей их работы на производстве, проводить анализ и маркетинг в области лазерной техники и технологий, демонстрировать и делиться опытом по направлениям деятельности, изготавливать качественную и высокотехнологическую продукцию для нужд предприятий региона.

УДК 621.791

**Д. Л. САПРЫКИН, генеральный директор  
ЗАО "НИИ ЭСТО" (Зеленоград)  
E-mail: market@estoco.ru**

## Лазерные технологии для модернизации

Проанализирован зарубежный и российский рынки лазерного технологического оборудования. Показано, что по окончании кризиса лазерная индустрия России переходит в новую фазу и готова к серьезным структурным инновациям.

Foreign and domestic markets of laser industrial equipment are analysed. It is shown that by the end of crisis laser industry of Russia goes over to a new phase and is ready for considerable structural innovations.

**Ключевые слова:** высокотехнологические компании, рынок, инновации, лазерные технологии

**Key words:** high-technology company, market, innovation, laser technologies

Возрождение российской промышленности, не говоря уже о ее переводе на инновационные рельсы значительно зависит от масштабов и качества оснащения российских предприятий новым технологическим оборудованием. Российские предприятия испытывают колоссальный дефицит современного технологического оборудования. На протяже-

нии многих лет имеет место недостаток инвестиций в основные средства. В особенности это относится к малым и средним предприятиям, которые во всем мире являются двигателями инновационной экономики. Это является одной из основных причин неконкурентоспособности многих отечественных производственных предприятий. Издержки производства на

морально устаревшем оборудовании слишком велики, производственный процесс оказывается ресурсо- и энергозатратным, а качество продукции — недостаточным.

К тому же период кризиса и посткризисного подъема резко увеличивает требования к гибкости производственного процесса. Если в момент падения спроса особенно важно

было иметь возможность уменьшить объем продукции или изменить ее характеристики, сохраняя экономически приемлемые показатели, то сейчас встает другая проблема — необходимость быстрых поставок все возрастающего объема продукции и импортозамещения.

Существенный недостаток современного технологического оборудования и другие проблемы российских предприятий сочетаются с нарастающими в мировых масштабах диспропорциями, которые уже в ближайшее время могут до неузнаваемости изменить привычный рынок высокотехнологичной продукции.

Финансовый кризис, политическая напряженность и природные катаклизмы привели к существенным проблемам или даже банкротству многих мировых производителей, нарушению годами сложившихся кооперационных связей и логистики. Последовавший затем резкий рост объема заказов привел к возникновению дефицита и значительному удлинению сроков исполнения контрактов. Причем наиболее существенные диспропорции возникли в секторах промышленности, продукция которых оказалась наиболее востребованной. Согласно обзору известной швейцарской консалтинговой компании Optech Consulting<sup>1</sup>, рост мирового рынка лазерных систем для обработки материалов в 2010 г. составил рекордные 49 %.

Такой фантастический рост продаж лазерных комплексов, значительно опережающих темпы восстановления остальных секторов промышленности, связан прежде всего с тем, что лазерная технология играет огромную роль в происходящих сейчас структурных изменениях. И дело не только в том, что в производстве многих современных изделий (ототовых телефонов до автомобилей и судов) лазер оказывается незаменим. Еще важнее, что именно лазерные технологические системы играют центральную роль в происходящих в последнее время изменениях

технологического уклада, которые связаны с резким повышением гибкости, мобильности и унификации производства, энергоэффективностью и ресурсоэффективностью, снижением издержек и одновременно выходом на новый уровень качества продукции. Поэтому в настоящее время ни одно из стратегически важных технологических направлений в мире не обходится без использования лазеров при обработке материалов. Лазерные технологии активно применяются в электронном машиностроении, автомобилестроении, атомной, космической, авиационной и судостроительной промышленности, медицине и практически во всех направлениях оборонного производства.

Развитие лазерной технологии является одной из важнейших материальных основ для бурного роста современных малых производственных высокотехнологичных компаний (в том числе технологических центров, job shops и мини-заводов), по всему миру оказывающих огромный объем услуг по раскрою, сварке, маркировке, микрообработке различных материалов, "под заказ" производящих огромную номенклатуру изделий от рекламы и ювелирных украшений, до комплектующих для автомобилей и уникальных образцов для спецприменений. В Европе, США и Юго-Восточной Азии сейчас работают уже десятки тысяч таких предприятий, оборудованных лазерными станками и полностью изменивших представление о современном производстве, которое во многих случаях уже не ассоциируется с гигантским конвейерным процессом "индустриальной эпохи".

Однако с началом послекризисного восстановления лазерные компании оказались не вполне готовы к изменившейся ситуации. Во-первых, они не были готовы к резкому расширению производства, так как их собственные мощности были ограничены; во-вторых, столкнулись с дефицитом некоторых компонентов, например, некоторых микроэлектронных компонентов из Японии, части важных оптических и оптоэлектронных изделий.

Наконец, самое, может быть, важное обстоятельство состоит в том, что для полного и экономически эффективного использования преимуществ лазерной технологии необходим очень тесный контакт между производителем лазерного технологического комплекса и заказчиком. За исключением небольшого числа стандартных применений лазерный комплекс должен быть очень хорошо "подогнан" под конкретные требования заказчика и интегрирован в его технологический процесс. Отсутствие близкого контакта с производителем оборудования часто ведет и к тому, что заказчик получает не ту технологию, которая нужна именно ему и при этом оказывается всегда на шаг позади своих конкурентов. Близость к потребителю важна и с точки зрения низкой себестоимости и быстроты обслуживания. Вот почему во всех развитых странах производство систем оборудования и системная интеграция (т. е. создание законченных технологических комплексов, включенных в производство заказчика) и сервисная поддержка возникает "рядом с потребителем". Кризис, принесший определенные деглобализационные тенденции (которые, видимо, будут только углубляться) сделал эти соображения еще более актуальными.

Перечисленные тенденции на мировом рынке с учетом того, что российский рынок технологического оборудования является, как сказано выше, очень емким, создает уникальный шанс для российских компаний, производителей лазерных технологических систем. Условием для возможного роста является то, что лазерная индустрия в России является одной из немногих конкурентоспособных отраслей высокотехнологичной производственной экономики. Достижения российской лазерной и оптической школы общеизвестны. Российские физики Н. Г. Басов и А. М. Прохоров вместе с американским коллегой Ч. Таунсом получили Нобелевскую премию именно за создание принципов, на которых до сих пор базируется лазерная техника. Штат ведущих мировых лазерных компаний значительно укомплектован

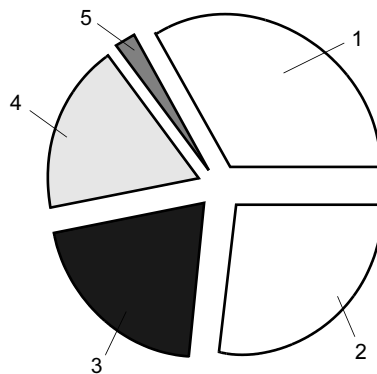
<sup>1</sup> Майер А. // Laser Technikal Journal. 2011. № 5.

российскими специалистами. В России имеется ряд фирм, в основном постперестроечной волны, производящих самые современные лазерные комплексы. Потенциалом, позволяющим разрабатывать и производить всю гамму современных лазерных технологических систем, обладает не более десятка стран. К их числу относится и Россия.

К тому же прошедшие весной 2011 г. выставки ("Фотоника" и "Металлообработка—2011" в Москве) показали, что многие ведущие отечественные фирмы, производители лазерных технологических комплексов (НПЦ "Лазеры и аппаратура ТМ", ОКБ "Булат", ЗАО "НИИ ЭСТО", ВНИТЭП), пользуясь передышкой в потоке заказов, провели большой объем НИОКР и представили абсолютно новые разработки, отвечающие последним мировым тенденциям. Пользуясь резким ростом спроса на мировых рынках, эти российские компании начали восстанавливать свое присутствие на мировых рынках, в том числе в Европе и США.

Другой предпосылкой для сохранения и развития лазерного машиностроения в России является восстановление некоторых базовых отраслей, традиционно ставящих задачи для лазерщиков (оборонная отрасль, авиастроение и судостроение, транспортное машиностроение, приборостроение, спецмашиностроение и атомная промышленность).

Основные российские лазерные компании за исключением фрязинского НТО "ИРЭ-Полюс", являющегося частью IPG Photonics, остаются малыми компаниями с объемом продаж не более 10 млн долл. и численностью сотрудников не более 100 человек. К тому же они так же, как и почти все российские малые производственные компании, ощущают острую нехватку основных средств, современных производственных площадей и инфраструктуры, по-прежнему находятся на "голодном пайке" в отношении кредитных ресурсов. В связи с перспективой расширения производства начал ощущаться и дефицит кадров, прежде всего квалифицированных рабочих, конструкторов, про-



**Российский рынок лазерного технологического оборудования:** 1 — резка — 33 %; 2 — сварка, наплавка — 27 %; 3 — маркировка, гравировка — 20 %; 4 — микрообработка — 18 %; 5 — другие области — 2 %

граммистов, инженеров-механиков, электротехников и оптиков.

Тем не менее, отечественные ведущие лазерные компании совершили огромный прорыв в последние годы и имеют все основания для дальнейшего роста.

Мировой рынок лазерного технологического оборудования для обработки материалов оценивается в 7,9 млрд евро<sup>1</sup>. Российский рынок в настоящее время составляет не более 1 % мирового, но в последние 7—8 лет он развивается опережающими темпами.

На рисунке приведено примерное распределение спроса на лазерные технологические системы в России. Данные получены из анализа запросов, поступивших на оборудование в 2007—2010 гг. Следует иметь в виду, что количественные соотношения между различными сегментами и темпы их роста быстро меняются. Кроме того, достаточно условной является граница между различными применениями, так прецизионная резка (fine laser cutting в англоязычной литературе) иногда относится к микрообработке, иногда к резке. Такой же вопрос возникает в отношении некоторых "сканерных" применений, очень близких к маркировке. На рисунке к микрообработке относятся и подгонка, и микрорезка, и применения, смежные между микрообработкой и маркировкой.

## ЛАЗЕРНАЯ РЕЗКА

В настоящее время лазерную резку применяют во всех отраслях промышленности — от раскроя листовых материалов для корпусов различных приборов до изготовления строительных конструкций, деталей машин, узлов летательных аппаратов, судов, специзделий. Спрос на лазерные комплексы в России начал расти в начале 2000-х годов. В 2007—2008 гг. годовой объем продаж новых систем для лазерной резки составил не менее 200 шт. в год при мировом объеме продаж до 4000 комплексов. В этом сегменте рынка лазерных технологий до 2008 г. преобладали системы на CO<sub>2</sub>-лазерах. На российском рынке активно работает большая часть известных мировых производителей таких систем: Trumpf (Германия), Bystronic (Швейцария), Mazak (Япония), Prima Industrie и Salvagnini (Италия), Knuth Werkzeugmaschinen GmbH (Германия), AMADA (Япония), FINN-POWER (Финляндия) и др. Они предлагают как новые, так и б/у комплексы и долгое время контролировали почти весь российский рынок раскройных систем на мощных CO<sub>2</sub>-лазерах. Приобретение и запуск нового комплекса с CO<sub>2</sub>-лазером для потребителя до начала кризиса обходилось в сумму 0,5—1 млн евро (с учетом пуска-наладки, обучения, сервиса) при относительно очень высокой цене владения (складывающейся из дорогостоящего сервиса и поставки комплектующих иностранного производства). Отечественные производители систем с мощными CO<sub>2</sub>-лазерами — ЗАО "ТехноЛазер" и ЗАО "Лазерные комплексы" (Шатура) — контролировали не более 10—15 % рынка.

В последнее время, однако, ситуация начала сильно меняться. Это связано с тем, что ряд крупных мировых производителей CO<sub>2</sub>-лазеров (в том числе Rofin Sinar и Synrad) изменили свою маркетинговую стратегию, отказавшись от продажи законченных технологических комплексов и перейдя к поставкам своих лазеров российским "интеграторам" (таким, как уже упомянутые ЗАО "НИИ

ЭСТО" и ЗАО "Лазерные комплексы"). Так появились отечественные лазерные технологические системы с немецкими и американскими лазерами.

Кроме систем с  $\text{CO}_2$ -лазерами, на российском рынке активно предлагаются комплексы с импульсными твердотельными лазерами с ламповой и диодной накачкой мощностью до 300—500 Вт. У этих систем ограниченные возможности по производительности и толщинам обрабатываемых материалов. Но они активно используются в мелкосерийных производствах, "джоб-шопах" и для решения задач, где применение  $\text{CO}_2$ -лазеров неэффективно или невозможно. Например, при резке алюминия, латуни, меди и других цветных металлов, стали толщиной до 3—4 мм, фигурной резке с большим количеством мелких отверстий и фрагментов, прецизионной резке и т. д. В сегменте комплексов с ламповой накачкой доля российских производителей для отечественных предприятий почти 100 %. Общее количество поставляемых новых систем в последние годы составляло 25—35 шт. в год. Основные производители таких систем — НПЦ "Лазеры и аппаратура ТМ" и ОКБ "Булат" (Зеленоград), НПФ "ТЕТА" (Москва). Кроме новых систем, ряд предприятий использует б/у комплексы, модернизированные на базе установок еще советского производства. Стоимость новой машины с твердотельным лазером с ламповой накачкой оказывается примерно в 2—3 раза ниже, чем системы с  $\text{CO}_2$ -лазером. С появлением новых  $\text{CO}_2$ -лазеров и особенно волоконных лазеров в 2007—2008 гг. этот сегмент рынка пришел в некоторый упадок. Но с началом кризиса здесь вновь наметился подъем, обусловленный низкой ценой и высокой универсальностью систем на лазерах с ламповой накачкой.

Однако настоящей альтернативой  $\text{CO}_2$ -лазерам в области резки листового металла стали волоконные лазеры, разработанные и производящиеся транснациональной научно-технической корпорацией IPG Photonics Corporation, выросшей из российской компании НТО "ИРЭ-Полус" (основатель и руководитель

В. П. Гапонцев). Группа IPG, в том числе ее завод во Фрязино, долгое время оставалась единственным в мире производителем мощных промышленных волоконных лазеров для резки, сварки и термической обработки и лидером продаж по большинству других типов волоконных лазеров. Являясь отечественной компанией, НТО "ИРЭ-Полус" активно взаимодействует с российскими компаниями, производителями лазерных технологических систем (НПЦ "Лазеры и аппаратура ТМ", ВНИТЭП, "Рapid", "Унимаш", "Лазерный центр") и принимает участие в работах по созданию отечественных технологических систем нового поколения.

Объем выпуска волоконных лазеров и систем на их основе стремительно растет, вытесняя из промышленности лазеры других типов. Именно эта тенденция начиная с 2008 г. наблюдается в области систем для резки металлов, где машины на волоконных лазерах существенно потеснили более традиционных конкурентов на  $\text{CO}_2$ -лазерах и твердотельных лазерах с ламповой и диодной накачкой.

Новый поворот произошел в 2010—2011 гг., когда несколько ведущих мировых компаний (на российском рынке представлен Rofin Sinar) начали поставки своих мощных волоконных лазеров и одновременно был достигнут значительный прогресс в производстве лазеров с диодной накачкой и удобных в эксплуатации отпаянных  $\text{CO}_2$ -лазеров средней мощности (пригодных для резки оргстекла, фанеры и тонкого листового металла). Компании-производители этих лазеров в последнее время активно ведут переговоры с российскими компаниями, производителями законченных технологических комплексов и, например, на выставке "Металлообработка—2011" компания ЗАО "НИИ ЭСТО" представила два новых российских комплекса с лазерами компании Rofin Sinar. Эта тенденция ведет не только к дальнейшему разделению рынков лазеров и лазерных технологических систем, но и более полному удовлетворению разнообразных запросов российских заказчиков.

Волоконные лазеры бесспорно имеют колоссальные перспективы, но они не могут заменить все существующие альтернативы.

Кроме применения новых типов лазеров развитие отечественных технологических систем стимулировало освоение российскими фирмами НПЦ "Лазеры и аппаратура ТМ" (Зеленоград) и ВНИТЭП (Дубна) производства самой современной в настоящее время технологии создания кинематических систем на основе прямого электромагнитного привода (линейных синхронных двигателей). Именно одновременное применение таких кинематических систем и волоконных лазеров позволило этим компаниям создать новое поколение раскройных комплексов, не уступающих продукции ведущих мировых компаний и при этом более доступных по цене. Названные компании производят подобные комплексы серийно уже несколько лет. Комплексы "Навигатор" компании ВНИТЭП более дорогие, отличаются большими размерами и производительностью. Комплексы МЛЗ и МЛПЗ НПЦ "Лазеры и аппаратура ТМ" отличаются меньшей ценой, большей универсальностью и ориентированы в основном на мелкосерийные производства и джоб-шопы, а также на решение высокоточных задач и задач лазерной микрообработки.

Конкурентом двух упомянутых российских компаний является также белорусская фирма "Рухсервомотор", долгое время специализировавшаяся на массовом производстве самих линейных двигателей, а в последнее время проявляющая интерес к "системной" тематике.

Появление на выставках китайских, индийских и турецких раскройных комплексов с волоконными лазерами пока представляет некоторую экзотику. Начальная цена этих машин не ниже, чем российских, при этом они заметно дороже в обслуживании и уступают по качеству и уровню применяемых технических решений.

До кризиса ежегодный рост объемов продаж комплексов для резки составлял не менее 30 %. После спада во второй половине 2009 г. и в первой

половине 2010 г. спрос на системы для резки опять резко вырос, хотя произошло определенное перераспределение объемов продаж по сегментам. По нашим оценкам, даже при самых неблагоприятных условиях к 2015 г. объем продаж таких систем на российском рынке составит не менее 150—200 млн долл. в год.

### ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА И НАПЛАВКА

В настоящее время для лазерной сварки и наплавки широко применяют установки с импульсными твердотельными лазерами с ламповой накачкой. Применение импульсных лазеров обеспечивает минимальную зону термического влияния на материал, что позволяет сохранить геометрию свариваемых изделий практически без изменений. Поэтому установки с твердотельными лазерами широко применяют при производстве приборов электронной техники, точного приборостроения, ювелирных и медицинских изделий, ремонте и восстановлении пресс-форм и других ответственных изделий. Эти установки применяют для изготовления сложных и ответственных изделий в атомной, аэрокосмической, электронной, оборонных отраслях промышленности. В настоящее время на российском рынке предлагается широкий спектр современных установок с лазерами с ламповой накачкой — от компактных комплексов для ручной точечной сварки до широко универсальных лазерных машин с управляемыми от компьютера координатными столами. Большая часть систем, используемых в нашей стране — отечественного производства. Годовой объем продаж в России примерно около 100 законченных систем. Примерно столько же российские компании до начала кризиса поставляли на экспорт. Ежегодный рост объемов внутреннего спроса составлял 25—30 %. Основные российские фирмы-производители — НПЦ "Лазеры и аппаратура ТМ" и ОКБ "Булат" (Зеленоград).

В последнее время в данном сегменте рынка большую активность проявляют китайские предприятия. Но качество и надежность их систем

по-прежнему заметно ниже российских (что совершенно неприемлемо, например при изготовлении спецтехники). Поэтому основным методом для китайских предприятий здесь является демпинг. Западные производители сварочных систем с ламповой накачкой (например швейцарская фирма LASAG) продали на российском рынке лишь единичные образцы систем. Это связано прежде всего со слишком высокой ценой.

В 2011 г. фирма IPG Photonics начала продажи нового волоконного лазера с большой мощностью в миллисекундном импульсе. Данные лазеры имеют преимущества в применениях для сварки и наплавки по сравнению с традиционными лазерами с ламповой накачкой, хотя и отличаются пока меньшей универсальностью и чуть более высокой ценой. Первые комплексы с такими лазерами в настоящее время проданы компанией "Лазерный центр" (С.-Петербург) и НПЦ "Лазеры и аппаратура ТМ".

Основной недостаток установок с ламповой накачкой — ограниченная средняя мощность, поэтому они не конкурентоспособны в областях, где требуется сварка силовых конструкций или высокая производительность. Емкость этого сегмента рынка за рубежом значительно превосходит емкость рынка установок с ламповой накачкой, так как непосредственно связана с отраслями массового производства — автомобилестроением, производством продукции широкого назначения и т. п. С самого начала внедрения лазерных технологий сварки для этих целей начали использоваться мощные CO<sub>2</sub>-лазеры. На российском рынке комплексы для сварки с мощными CO<sub>2</sub>-лазерами предлагаются как зарубежными, так и российскими фирмами. В настоящее время объем продаж таких систем значительно уступает объему продаж систем для резки. Однако в ближайшее время здесь ожидаются существенные изменения, связанные с появлением мощных волоконных лазеров, которые имеют ряд принципиальных технических преимуществ. Достигнутые параметры по мощности позволяют сваривать материалы толщиной до 20—30 мм. Системы

сварки с волоконными лазерами активно применяют в автомобилестроении, авиастроении и судостроении, нефтяной и газовой отраслях (например для сварки труб). Благодаря высокому КПД и надежности таких систем растет энергоэффективность, существенно упрощается обслуживание, уменьшаются массогабаритные параметры, что приводит к созданию мобильных систем, осуществлению дистанционной сварки и использованию всей гаммы современных робототехнических систем и т. д.

Перспективным направлением является также гибридная сварка, при которой применяют одновременно лазеры разных типов или лазеры и другие устройства.

Другое перспективное направление — применение диодных лазеров, способных решать, в том числе, задачи по сварке пластиков и других полимерных материалов. К этой же категории следует отнести комплексы для объемной реструктуризации и термоупрочнения поверхностей, а также лазерного отжига.

По нашим оценкам, объем российского рынка лазерного оборудования для сварки уже в ближайшие годы может составить более 100 млн долл. Среди потенциальных российских потребителей следует назвать судостроительную промышленность, авиакосмическую, сталелитейную, нефтяную и газовую отрасли, железнодорожный транспорт и др.

### МАРКИРОВКА И ГРАВИРОВКА

Лазерную маркировку и гравировку применяют практически во всех отраслях промышленного производства для контроля качества и объемов, нанесения надписей на приборные панели, мерительный инструмент, клавиатурные поля, изготовления маркировочных и мнемонических табличек и шильдиков идентификационного и защитного кодирования промышленных образцов, художественной и серийной маркировки и отделки промышленной продукции и сувенирных образцов.

В качестве кинематической системы в установках маркировки обычно применяют сканерные головки, позволяющие перемещать лазерное

пятно путем угловых качаний (сканирования) в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. В установках для маркировки в настоящее время используют четыре типа систем: CO<sub>2</sub>-лазеры, Nd:YAG-лазеры с ламповой накачкой, твердотельные лазеры с диодной накачкой и импульсные волоконные лазеры. Каждый из используемых лазеров имеет преимущества и недостатки и каждый из соответствующих типов маркировщиков занимает свою рыночную нишу. Однако сравнительный анализ тенденций рынка показывает, что наиболее быстрыми темпами растет сегмент, занимаемый маркировщиками с импульсными волоконными лазерами.

Большинство предлагаемых на российском рынке маркеров с CO<sub>2</sub>-лазерами — импортные модели китайского, тайваньского и австрийского производства. Практически все маркировщики на твердотельных и волоконных лазерах разработаны и производятся российскими компаниями. Годовой объем продаж этих моделей в настоящее время составляет примерно 300—400 шт. Более половины из них с волоконными лазерами. Основные производители маркировщиков в России — ООО "Лазерный центр", "Центр лазерных технологий" (С.-Петербург), НПЦ "Лазеры и аппаратура ТМ", ООО "Сканер-Плюс", НПФ "ТЕТА", ООО "АТЕКО" (Москва).

Данный сегмент рынка наиболее быстрыми темпами развивался с начала 2000-х годов и конкуренция здесь весьма высока.

## МИКРООБРАБОТКА

Повышение требований к надежности и качеству высокотехнологичной продукции, стремление к миниатюризации приборов при повышении управляемости и гибкости всех систем привели в последние годы к быстрому росту спроса на ЛТК для лазерной прецизионной микрообработки. Лазерные технологии микрообработки позволяют осуществлять микросварку и резку, сверление сверхмалых отверстий в матрицах и фильерах из сверхтвердых материалов, фрезерование и формообразование, размерную обработку, изго-

товление сверхплотных масок и трафаретов, функциональную лазерную настройку, послойное удаление пленок, локальный отжиг и реструктуризацию и многие другие технологии микро- и нанообработки.

Необходимость выделения систем для микрообработки в отдельный класс связана с тем, что для решения большинства задач, стоящих перед потребителями этих технологий, возможностей традиционных комплексов недостаточно. Хотя средняя мощность лазеров в лазерных технологических комплексах для микрообработки не превышает 100 Вт, ее пиковые значения должны составлять от единиц киловатт до десятков и более мегаватт, а плотность мощности в лазерном пятне должна быть достаточной для испарения (возгонки) материала. При этом часто требуется, чтобы лазерное излучение генерировалось не только в ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне спектра (1 мкм), а также в видимом и ультрафиолетовом диапазонах, так как зона термического влияния не должна превышать долей или единиц микрон. Другой подход состоит в использовании селективных и пороговых свойств лазерного излучения, позволяющих обеспечить микро- и нанометрическое воздействие или реструктуризацию материалов (что достигается в том числе применением лазеров с ультракороткой длительностью импульса).

Большинство задач микрообработки также предъявляет очень высокие требования к быстрому взаимному перемещению объектов обработки и лазерного луча с высокой динамической точностью, что требует применения самых современных систем управления и кинематических систем последнего поколения.

Реальная потребность в лазерных системах этого класса в России вновь возникла несколько лет назад на предприятиях базовых отраслей промышленности и была связана с начавшимся технологическим перевооружением. Это обстоятельство явилось стимулом к созданию и освоению в производстве первых отечественных комплексов для микрообработки нового поколения: лазерных

машин серий МЛ1, МЛП1, МЛП3. Разработчиками и производителями этих систем являются НПЦ "Лазеры и аппаратура ТМ" и ЗАО "НИИ ЭСТО". В первых комплексах использовали лазеры с ламповой накачкой и газовые на парах меди. В дальнейшем по мере появления новых задач началась разработка и производство систем с другими типами лазеров — твердотельных с диодной накачкой, волоконных и диодных.

Задачи лазерной микрообработки можно условно разбить на две группы.

К первой относятся технологические комплексы для решения специфических задач микрообработки, для создания уникальных изделий или большой гаммы мелкосерийных изделий для высокотехнологичных отраслей промышленности. Подобные узкоспециализированные и, наоборот, универсальные многофункциональные комплексы для лазерной микрообработки, успешно применяются и производят в России и применяются на предприятиях авиакосмической, микроэлектронной, оборонной, атомной, судостроительной промышленности, в приборостроении и энергомашиностроении.

К второй категории следует отнести машины для выполнения стандартных операций в массовом производстве. К ним следует отнести прежде всего системы для подгонки компонентов микроэлектроники. Единственным производителем таких систем (машина МЛ5) в России является НПЦ "Лазеры и аппаратура ТМ".

Другое серийное применение лазерной микрообработки связано с запуском в массовое производство любых массовых изделий, например, тонкопленочных фотоэлементов для солнечной энергетики, датчиков, выполнения типовых операций при производстве мобильных телефонов и гаджетов, плоских экранов и т. д. Введение лазерной операции в производственный цикл должно осуществляться еще на фазе НИОКР, что часто означает необходимость сотрудничества компании-производителя оборудования и компании-разработчика конечного изделия.

До последнего времени в России не было крупных производственных предприятий в этой области. Большие надежды связаны с проектами РОСНАНО, в частности, в области производства тонкопленочных фотоэлементов, гибких дисплеев и т. д. Во всех этих областях применение лазерной микрообработки считается очень перспективным.

К сожалению, менеджеры госкорпорации при реализации этих проектов похоже следуют не лучшей советской традиции, предполагающей закупку всей технологии и полной линейки оборудования у крупных иностранных интеграторов и не оставляющей возможностей для осуществления технологических НИОКР. Между тем уже советский опыт показал, что закупка (или копирование) полного технологического цикла и ориентация исключительно на иностранное оборудование, хотя и ведет к быстрому решению текущих задач, уже в среднесрочной перспективе после появления принципиальных технологических изменений обрекает отрасль на безнадежное отставание. Именно поэтому те отрасли отечественной промышленности (автомобилестроение и в значительной степени микроэлектроника), которые с 60-х годов ориентированы на копирование, до сих пор являются отстающими. Там, где вместе с применением иностранного опыта, использовали и собственные наработки (в оборонной, атомной, авиакосмической промышленности, энергомашиностроении), несмотря даже на глубочайший кризис 90-х гг., мы все же сохраняем сильные позиции.

Разумеется, почти полная ориентация РОСНАНО и части других крупных госкорпораций исключительно на закупку западного оборудования сильно тормозит развитие собственных российских технологий и обрекает отечественные компании на вечное отставание. Хотя, как представляется, российские производители оборудования вполне могли бы участвовать в международной кооперации, начав с участия в программах технологических НИОКР крупных российских госкорпораций.

### СТРУКТУРНАЯ ТЕНДЕНЦИЯ: ЛАЗЕРНЫЕ ЦЕНТРЫ

Наряду с развитием рынка лазерного технологического оборудования по отдельным применениям стоит отметить тенденцию создания целых лазерных технологических центров, в англоязычной литературе известных как Job shops, позволяющих выполнять на заказ широкую гамму работ по лазерной обработке материалов. Каждое такое предприятие представляет малую фирму — своего рода универсальный мини-завод, оборудованный комплектом гибких многофункциональных технологических установок и вспомогательного оборудования. Типичный комплект — установка лазерной резки, сварки, маркировки, к которой добавлены машины для гибки листовых материалов и сварки. Подобные мини-заводы могут быть созданы на небольшой площади (от 150 до 1000 м<sup>2</sup>). В настоящее время активно создаются в процессе реструктуризации и модернизации промышленных зон и предприятий, сопровождающихся выводом устаревшего ресурсо- и энергоемкого оборудования, занимавшего к тому же огромные площади. Лазерное производство оказывается значительно более гибким, энергоэффективным, экологичным, компактным и более конкурентоспособным. По данным "Лазерной ассоциации", в России на сегодня действует не менее 400 подобных малых предприятий. Эта цифра уже довольно значительна, но она существенно уступает подобным показателям для крупных промышленно развитых стран, где в настоящее время работают десятки тысяч лазерных Job shops.

Поэтому полагаем, что в России имеется колоссальная перспектива для развития таких малых предприятий и внедрения на них лазерного оборудования. Важную роль здесь будут играть "образцовые" лазерные центры, созданные в процессе реструктуризации крупных предприятий с участием ведущих вузов и предприятий-разработчиков лазерного оборудования. В Москве успешным примером такого центра является Центр лазерных технологий, созданный ОАО

МТЗ "Трансмаш" совместно с кафедрой "Лазерные технологии в машиностроении" МГТУ им. Н. Э. Баумана при поддержке Правительства Москвы. Особенностью данного центра является то, что в нем представлено оборудование прежде всего российских производителей, таких как НТО "ИРЭ-Полюс", НПЦ "Лазеры и аппаратура ТМ", ОКБ "Булат", "Лазерные комплексы". Кроме типовых технологических процессов, в центре представлены такие уникальные процессы для отечественного машиностроения, как порошковая лазерная наплавка, лазерно-дуговая сварка и др. Он является не только успешным коммерческим предприятием, но и важным элементом инновационной инфраструктуры, позволяющим продемонстрировать возможности современного российского оборудования, проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки и готовить специалистов в области лазерной техники и технологии.

### ВЫВОДЫ

1. В настоящее время сложилась уникальная ситуация, характеризующаяся переборами в поставках комплектующих и оборудования на мировых рынках при одновременном нарушении сложившейся в течение многих лет международной кооперации. Учитывая большую ненасыщенность российского рынка технологического оборудования и зависимость от иностранных компаний, это одновременно представляет опасность для российской промышленности и в то же время делает необходимым развитие отечественного производства законченных технологических систем.

2. В настоящее время на российском рынке востребован весь спектр лазерных технологий обработки материалов. Основные потребители — предприятия базовых отраслей промышленности (оборонной, авиакосмической, судостроительной, атомной промышленности, транспортного и сельскохозяйственного машиностроения, приборостроения и индустрии инструментов, электроники и связи, малого бизнеса, прежде всего в области производства комплек-

тующих, рекламы, дизайна и ювелирного дела).

3. Российские производители лазерных систем — это не более 10—12 частных малых фирм численностью до 100 сотрудников и продажами менее 10 млн долл. в год каждая (исключение составляет НТО "ИРЭ-Полюс", со штатом 350 человек и объемом продаж в несколько десятков миллионов долларов в год). Тем не менее, несмотря на невысокие финансовые возможности, российским производителям до сих пор удавалось создавать конкурентоспособные современные системы для отдельных сегментов рынка. Кроме того, эти компании имеют отлаженную систему сервиса своего оборудования и в последние годы активно участвуют в международной кооперации. Как и во всех других странах, в России возникла сеть системных интеграторов и производителей систем законченного технологического оборудования, близких к заказчику и применяющих самые последние технологические разработки. В период кризиса российские компании, производители технологического оборудования, не только выжили, но и провели значительный объем НИОКР, представив абсолютно новые разработки, соответствующие мировому

уровню. Это позволило им сохранить место на российском рынке, но и возобновить поставки на мировой рынок.

4. Существенный недостаток основных средств, инвестиций и квалифицированных кадров не позволяет малым российским компаниям, производителям высокотехнологичного оборудования, быстро наращивать производство в ходе послекризисного восстановления спроса.

5. До кризиса годовой рост объемов продаж лазерного оборудования для обработки материалов значительно превосходил темпы роста промышленного производства и до кризиса составлял не менее 30 %, а по новым направлениям — 40—50 %. Этот рост замедлился, но не прекратился даже в условиях кризиса, в настоящее время он быстро восстанавливается.

6. На российском рынке активно работают практически все основные мировые производители оборудования и поставщики компонентов. Эти фирмы создают представительства, дилерские сети и сервисные группы, привлекают на работу российских специалистов. Однако большинство предлагаемых в России систем нельзя отнести к самому последнему поколению. Цена обслуживания также

весьма высока. Поэтому на рынке по-прежнему много предложений б/у оборудования.

7. Иностранные высокотехнологичные компании, в том числе созданные нашими соотечественниками, в последнее время проявляют большой интерес к сотрудничеству с российскими производителями технологических систем и в рамках этого сотрудничества уже появились первые совместные разработки. В последнее время наметились тенденции отказа ряда крупных компаний от поставки на российский рынок законченных технологических систем и переориентация на поставки некоторых ключевых модулей (прежде всего лазеров) российским системным компаниям. Таким образом, как и во всем мире российский рынок лазеров все больше дифференцируется по отношению к рынку законченных лазерных технологических систем.

В целом следует признать, что по окончании кризиса российский рынок лазерного технологического оборудования и соответствующая индустрия постепенно переходят в новую, более зрелую фазу и в настоящее время готовы к серьезным структурным инновациям.

---

---

---

**Издательский центр "Технология машиностроения"**

127018, Москва, ул. Октябрьская, 35

Сдано в набор 24.08.2011. Подписано в печать 11.10.2011. Формат 60×84 1/8. Бумага мел. имп. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 12,59. Заказ 11/11.

Отпечатано в типографии издательства "Фолиум", 127238, Москва, Дмитровское ш., 58, тел./факс: (495) 482 5590.

**Подписные индексы журнала "Технология машиностроения":**

**79494** в каталоге Агентства "Роспечать"

**27869** в Объединенном каталоге "Пресса России"

**60190** в каталоге "Почта России"