

ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТА

*С.А. Астанчик, В.С. Голубев, А.Г. Маклаков
Физико-технический институт НАН Беларуси*

Принципиальная основа всех лазерных технологий базируется на использовании уникального свойства когерентного источника света - лазера и систем управления лазерным лучом для воздействия на твердые, жидкие и газообразные среды с целью кардинального изменения свойств. Лазерное импульсное или непрерывное излучение позволяет сфокусировать в небольших объемах энергию с удельной плотностью мощности 10^3 - 10^{10} Вт/см², что превосходит другие известные источники энергии (плазма, электронный луч, электрический разряд). Световой луч управляется с помощью компьютерных электронных и механических средств, что позволяет создать технологии резки, сварки, сверления отверстий металлических и неметаллических материалов, термоупрочнения и модифицирования локальных участков поверхности твердых тел плоской и сложной пространственной геометрии. В машиностроении, микроэлектронике он широко используется для термоупрочнения, нанесения покрытий, резания и сварки, маркировки, скрайбирования, особенно при обработке высокопрочных, сверхтвердых и тугоплавких материалов, а также керамики, стекла, камня, дерева, тканей, кожевенных и полимерных материалов. Современная полупроводниковая микроэлектроника немыслима без лазерных технологий. Лазеры широко используются в медицинской практике.

В Беларуси работы в области создания лазеров и лазерных систем (технологий) представлены в институтах Национальной академии наук (институте Физики, Физико-техническом, институте тепломассообмена им. А.В. Лыкова), в вузах, отраслевых КБ и предприятиях (концерн «Планар» БелОМО, Интеграл, МАЗ, МТЗ, БелаЗ и др.)

Основные требования к новым технологиям в настоящее время заключаются, прежде всего, в их экологической чистоте, энергетической и ресурсной экономичности, полной автоматизации при сохранении традиционных требований высокой производительности и максимального экономического эффекта.

Лазерная технология, несомненно, относится к

разряду новых технологий, что видно как из фактов ее расширяющихся применений, так и из ее очевидных преимуществ [1-7]. Мировые тенденции развития научно-технического прогресса обуславливают насыщение лазерной техникой и технологией в первую очередь всех машиностроительных отраслей современной промышленности. Использование мощного лазерного излучения позволяет осуществить плавление, испарение или раскалывание конструкционных материалов, что применяется в современном производстве для изготовления деталей и узлов и улучшения их эксплуатационных характеристик. В республике Беларусь имеется серьезный задел в развитии этого направления. Определенный вклад в развитие технологий лазерной термообработки и упрочнения деталей, размерной резки, поверхностного легирования и наплавки покрытий внесли ученые России, Украины, Беларуси в том числе и инженерно-технические работники ФТИ НАНБ.

Для большинства отечественных (белорусских) предприятий нами созданы недорогие универсальные комплексы, которые позволяют производить раскрой широкой гаммы металлических и неметаллических материалов с достаточной точностью и производительностью, на которых можно осуществлять процессы сварки, упрочнения и восстановления. За период 1996-2001 г.г. было создано 9 производственных участков из них 6 в республике Беларусь (МАЗ, МоАЗ, Электротехнический завод им. В.И. Козлова, Минский авиаремонтный завод), 2 в РФ (ВАЗ и ИЛМК), 1 — в Украине (рис.1).

Мы убеждены, что научные разработки сегодня в области высоких технологий необходимо «выносить» из институтов на крупные предприятия, приближая их КБ и цеха к нуждам сугубо конкретных производств.

По технологиям, используемым в производстве, лазерные методы обработки условно разделяются на лазерную резку, сварку, наплавку или восстановление поверхности, а также различные способы упрочнения поверхности с использованием лазерного излучения.

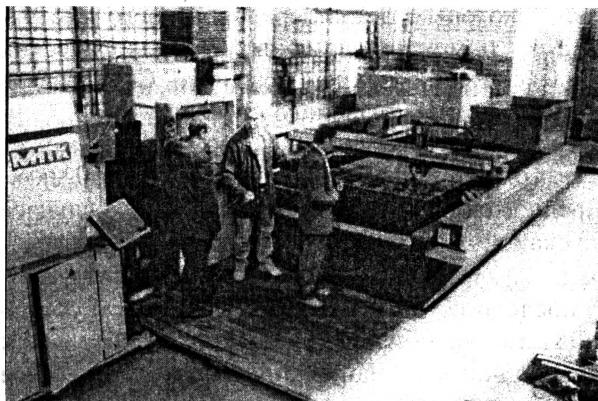


Рис. 1. Участок лазерной обработки на ПО «БелАВТОМАЗ»

Лазерное упрочнение, наплавка и легирование. Рассмотрение возможностей лазерных методов начнем с применения к дереворежущему инструменту.

В деревообрабатывающем производстве используется различный режущий инструмент: пилы, ножи, фрезы, сверла и т.д. Изготавливаются они как из обычных инструментальных сталей типа У 8-У 12, так и из легированных типа 9ХС, ХВГ, Х6ВФ, Р6М5, Р18 и др. Изготавливается также инструмент, оснащенный режущим зубом или вставками из твердого сплава. Выбор марки материала для изготовления дереворежущего инструмента зависит от многих факторов: обрабатываемого материала, объемов обработки, типа инструмента, угловых параметров, режимов резания и т.д.

Процесс затупления инструмента для обработки древесины и древесных материалов представляет сложный комплекс явлений физико-механического, теплового и химического характера, которые происходят при резании в непосредственной близости к лезвию.

Упрочняющие слои для дереворежущего инструмента должны обладать высокой твердостью и в то же время не снижать теплопроводности инструментального материала. При резании древесины в результате термической деструкции образуются агрессивные вещества, следовательно, упрочненные поверхности должны иметь повышенную коррозионную стойкость. Поскольку дереворежущий инструмент затачивается с малыми углами заострения, исключается применение толстых хрупких слоев, режущая кромка которых будет выкрашиваться в работе. Упрочнение должно производиться таким образом, чтобы после переточки инструмента упрочненные поверхности продолжали выполнять свои функции.

Выбирая определенный вид упрочнения, необ-

ходимо учитывать, как внутренние напряжения в упрочненном слое будут складываться с напряжениями, возникающими в инструменте от сил резания. От этого зависит, по какой поверхности передней (растянутой) или задней (сжатой) производить упрочнение.

Производственные испытания проводились при использовании концевых фрез для обработки фанеры толщиной 40 мм; дисковых фрез - фанеры толщиной 20 мм, ножей строгальных, дисковых пил - древесных материалов. Результаты испытаний показали, что разработанные способы модификации поверхностей инструментальных материалов с использованием лазерного излучения, позволяют значительно повысить стойкость инструмента для обработки древесины. Установлено, что стойкость до перезаточки дереворежущих инструментов, подвергнутых лазерной обработке, повышается:

- Фрез концевых (Р6М5) - в 2,2- 2,5 раза;
- 1. Фрез дисковых (Х6ВФ) - в 2,0- 2,3 раза;
- 2. Ножей строгальных (8Х6НФТ) - в 2,0-2,5 раза;
- 3. Пил дисковых (У 8) - в 1,8- 2,6 раза.

Были проведены стойкостные испытания дереворежущего инструмента, оснащенного твердосплавными вставками. Испытания проводились при обработке данным инструментом древесностружечных плит. Установлено, что после лазерной обработки стойкость инструмента повышается:

- 1. Ножей твердосплавных - 1,5- 1,6 раз;
- 2. Концевых фрез - в 1,5- 1,6 раз;
- 3. Пил дисковых - в 1,8- 1,9 раз.

В результате проведенных исследований и производственных испытаний показана перспективность использования лазерных методов для повышения стойкости дереворежущего инструмента. На этом основании выбраны режимы и предложены различные способы лазерной за-

калки некоторых типов дереворежущего инструмента с помощью лазерных технологических комплексов на базе непрерывного CO₂- лазера «Комета- 2» и импульсного - «Квант 18М». Глубина упрочненного слоя в первом случае может достигать 600- 800 мкм, во втором - 200-250 мкм.

Предложенные схемы обработки в ряде случаев допускают многократную переточку инструмента.

В последние годы технология лазерного упрочнения нами апробирована также применительно к осям подшипников конечной передачи тракторов МТЗ, изготовленных из стали ШХ15. Твердость на поверхности достигается 63-64 ед. HRC по сравнению с 59-60 ед. HRC при стандартной термообработке, толщина слоя 0,4-0,5 мм. Отметим, что повышая твердость на поверхности всегда имеется возможность предварительной термообработкой варьировать твердость основы и таким образом не снижать усталостные свойства конкретной детали. В этом плане интерес представляет проводимая нами работа для завода «Автогидроусилитель» (г. Борисов). Нам удалось на деталях типа вал-золотник при исходной твердости 40 ед. HRC довести поверхностную твердость в необходимых местах до 58-60 ед. HRC. В настоящее время заводом готовится опытная партия деталей для проведения производственных испытаний в узле рулевого управления.

Испытания прессоштамповой оснастки (матрица-штамп, сталь 9ХС) при холодной штамповке деталей из нержавеющей стали толщиной 0,8 мм, проведенные на ЗАО «Атлант», показали увеличение стойкости в 3-4 раза. Стойкость пуансонов из стали У10 в самых жестких условиях работы на КЗТШ при пробивке отверстий (диаметром 20 мм, толщиной 14 мм) в дисках колес автомобиля МАЗ возрастала до 2 раз. В настоящее время на заводе проходит испытания партия пуансонов из стали 60С2А для пробивки отверстий в лонжеронной группе деталей.

Метод лазерной наплавки имеет ряд преимуществ:

- подбор соответствующего состава наплавленного слоя и специальных добавок позволяет добиваться необходимых свойств наплавленной поверхности (твердость, износостойкость и др.);

- локальность процесса нагрева позволяет осуществлять наплавку как малых, так и достаточно протяженных поверхностей при чередовании процессов нанесения порошкового слоя и его лазерного оплавления;

- высокая прочность сцепления покрытие - подложка за счет взаимодействия материала покрытия и подложки в жидкой фазе;

- минимальное подплавление основы и отсутствие поводок и короблений на прецизионных деталях.

В зависимости от вида детали можно проводить лазерное оплавление предварительно напыленного покрытия или осуществлять непосредственно лазерную наплавку при подаче в зону лазерного нагрева присадочного материала в виде порошка, шнуров или проволоки. При этом обеспечивается высокое качество наплавленного покрытия, высокая прочность его сцепления вследствие металлургической связи с основой и минимальное тепловое воздействие на обрабатываемую деталь.

За последние года в ФТИ НАН Б накоплен значительный опыт по решению такого рода задач: разработано несколько типовых технологических процессов восстановления различных деталей с использованием этого метода. В частности, это процесс восстановления деталей трансмиссии (крестовина, проушина, карданная вилка и др.) подвижного состава (рис. 2 а, б). В результате испытаний в Локомотивном депо г. Лида установлено, что обработанные детали соответствуют техническим условиям на них, выдержали установленный гарантийный срок эксплуатации и продолжают дальнейшую работу.

Хорошие взаимоотношения у нас сложились с ЗАО «Атлант», для которого в течение более двух лет мы восстанавливаем ряд технологической оснастки, например, рабочие поверхности фильера для протяжки уплотнителя холодильника (рис. 2 в) и др.

Метод лазерного легирования позволяет вводить в тонкий поверхностный слой детали необходимые легирующие компоненты, не нагревая ее целиком, формировать в поверхностном слое глубиной до 1 мм комплекс необходимых механических свойств (твердость, контактная прочность, износостойкость). Метод лазерного легирования был использован применительно к резцам горнопроходческих комбайнов ПО «Беларуськалий», ножам и фильерам для протяжки и обрезки проволоки в условиях ОАО «Мотовело». В последнем случае производственные испытания показали увеличение стойкости более чем в 5 раз. Возможные области применения метода лазерного легирования ковочный инструмент для объемной горячей штамповки, быстроизнашивающиеся детали в узлах трансмиссий, тяжело нагруженные пары трения с небольшой площадью фактического контакта. Весьма перспективным применением данного метода на наш взгляд является использование его для упрочнения ра-

бочих кромок режущих ножей кормоуборочных машин производства Гомсельмаша. Предварительными испытаниями на ПО «Беларуськалий» установлено, что данный метод, учитывая масштабы потребления резцов, может дать значительный экономический эффект (рис. 2 г.)

развитых странах. Особенно это целесообразно при изготовлении кругов небольшого диаметра (от 115 до 400 мм) с использованием сегментов на никелевой, кобальтовой и железной основах. Это обеспечивает высокую производительность, экономию серебряного припоя и высокие меха-

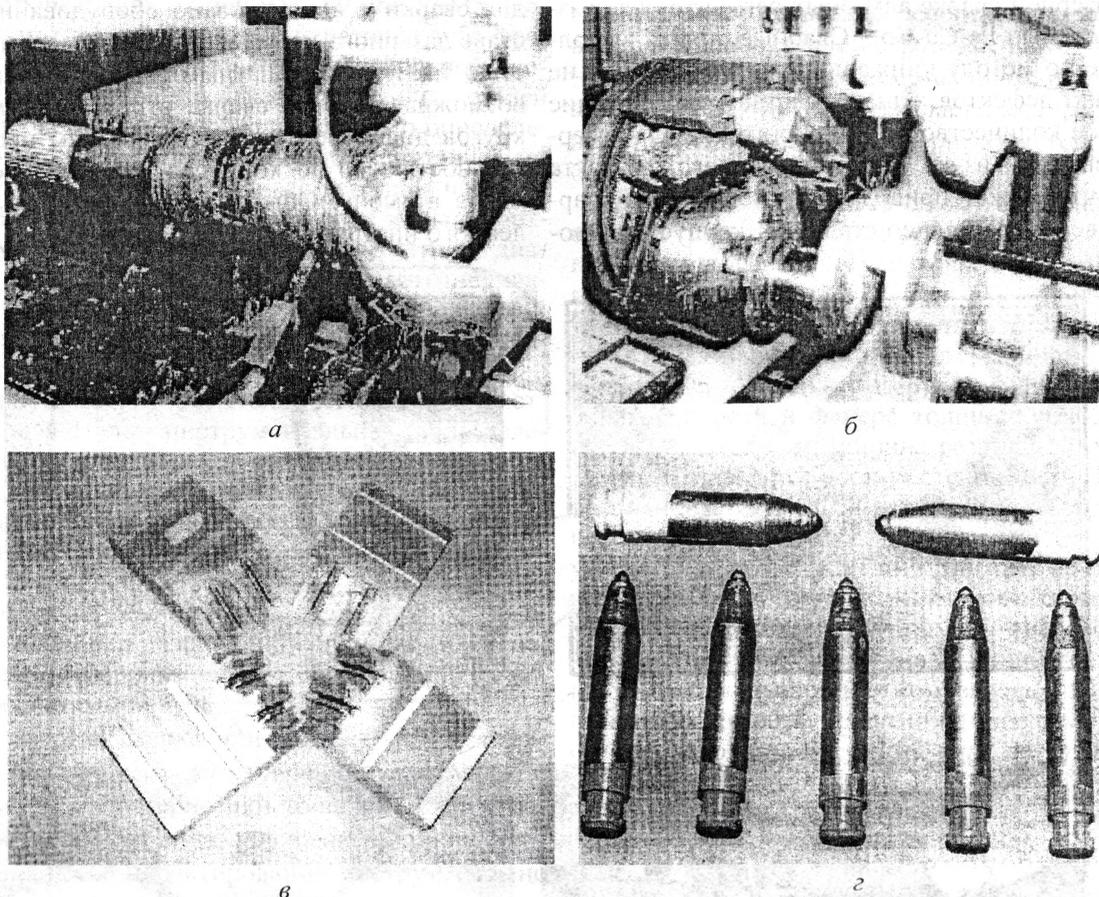


Рис. 2. Процессы лазерной наплавки, упрочнения и легирования: а, б — наплавка проушины и коленвала локомотива; в — восстановление фильеры литья ЗАО «Атлант», г. Минск; г — упрочненные методом лазерного легирования резцы горнодобывающих комбайнов

Лазерная сварка. Под задачи инструментальных производств Республики Беларусь нами исследовались и осваивались:

- лазерная сварка алмазных сегментов на никелевой и железной основе к полотну стального инструмента применительно к изготовлению сегментных отрезных алмазных кругов;
- лазерная пайка твердосплавных расклинивающих пластин к полотну инструмента для резки древесины;
- изготовление биметаллических отрезных фрез из разнородных сталей Р6М5 - 9ХС с применением лазерной сварки-пайки.

Изготовление алмазных сегментных отрезных кругов с использованием лазерного излучения, как источника нагрева для сварки или пайки, весьма перспективно, и широко используется в

нические свойства сварного соединения. Кроме того, качество алмазного инструмента, изготовленного с использованием финишной операции сварки, как правило, выше, чем при использовании операций стандартной пайки ТВЧ. Нагрев при лазерной сварке алмазного сегмента значительно ниже, что предполагает сохранение свойств алмазов, мелкие частицы которых могут сгорать при обычной пайке ТВЧ и затем выкрашиваться в процессе эксплуатации.

Установлено, что процесс лазерной сварки необходимо проводить по режимам «кинжального проплавления», когда за счет специальных механизмов проплавления можно получить узкие, глубокие швы при скорости перемещения луча 10-20 мм/сек. Характерный признак нормального проведения процесса сварки - наличие плазмен-

ного факела яркого голубого сечения, сопровождающегося появлением резкого звука. Установлено, что швы, выполненные методом лазерной сварки систем «сталь 65Г-никелевый алмазный сегмент» обладают высокими прочностными свойствами. Похожие результаты были получены при лазерной сварке алмазных сегментов на связке системы Fe-Cu-Co. Сварные швы выполненные по методу кинжального проплавления не содержат дефектов, однако, составы, содержащие большое количество меди непригодны для лазерной сварки, из-за расклинивающего эффекта меди, что может приводить к трещинам в сварном шве на границе со стальным корпусом. Оло-

хлаждающих сред. Рекомендуется руководствоваться требованиями ГОСТ 16115-88 и изготавливать корпус круга из сталей типа 9ХФ, 9ХФМ или 7ХН2МФ.

Для промышленного использования данного метода была изготовлена специальная оснастка для сварки и адаптировано оборудование. В составе лазерного комплекса с CO2 лазером мощностью 1 кВт, координатным столом и вращателем возможна лазерная сварка отрезных сегментных кругов диаметром от 115 до 400 мм производительностью до 50 корпусов максимального диаметра в смену. Общий вид процесса и изготовленного инструмента представлен на рис. 3 а, б, в.

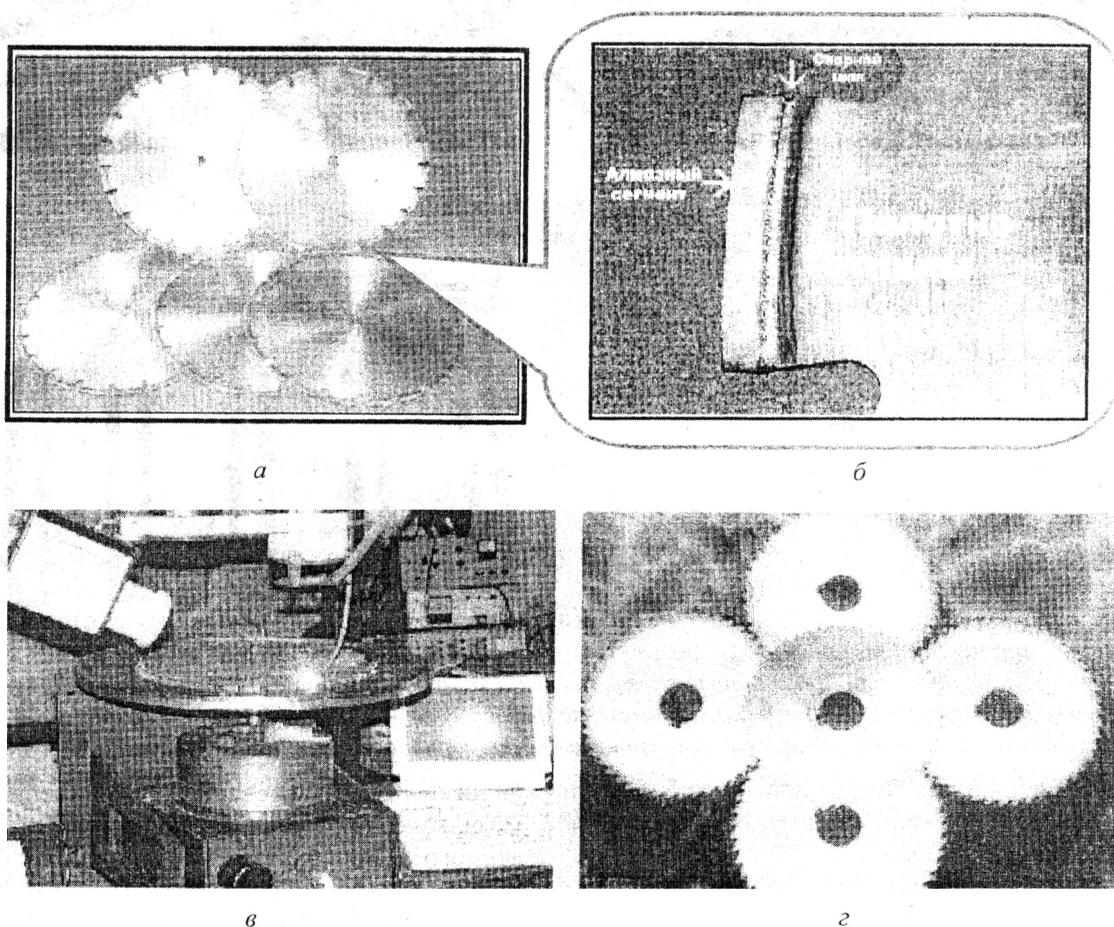


Рис. 2. Инструмент, изготовленный с применением лазерной сварки: а-в — лазерная сварка отрезных алмазных сегментных кругов; г — биметаллические фрезы (Р6М5-9ХС), изготовленные с применением лазерной сварки

во, как легкоиспаряющийся элемент, способствует самофлюсованию при лазерной сварке, поэтому расход защитного газа можно уменьшить.

Отметим, что при использовании лазерной сварки алмазных отрезных сегментных кругов отсутствует деформация корпусов пил и наблюдается минимальная зона термического влияния. Инструмент может работать без использования

При изготовлении дискового инструмента для скоростной резки древесины существует необходимость выполнения внутри тела пилы специальных пазов. На инструменте такого типа малых и средних размеров пазы служат для компенсации напряжений, возникающих при его работе. На пилах с диаметром от 200 мм и выше в пазах используются твердосплавные вставки длиной от 20

мм и более, которые могут дополнительно подрезать древесину и препятствовать заклиниванию инструмента.

Прорезные и отрезные фрезы для металла в диапазонах диаметров от 20 до 200 мм и соответствующих толщин от 1 до 5 мм изготавливаются из быстрорежущих сталей P18, P9 или P6M5. После затупления и 2-3 кратной переточки зуба фрезы выходит из строя. В целях значительной экономии дорогостоящих быстрорежущих сталей были проведены исследования с целью определения возможности изготовления биметаллических фрез из сталей P6M5-9XC, где режущая часть из стали P6M5 изготавливалась в виде кольца соответствующего диаметра, в зависимости от диаметра фрезы. Полотно инструмента изготавливалось из стали 9XC для обеспечения необходимой жесткости инструмента. Общий вид изготовленных фрез представлен на рис. 3 г.

Лазерную сварку биметаллических фрез быстрорежущая сталь - инструментальная сталь целесообразно проводить до операций термической обработки, а лазерная пайка является финишной операцией. Здесь аналогично наиболее оптимальным является проведение операции сварки в режиме кинжального проплавления с предварительным подогревом инструмента до 400° С сфокусированным лазерным лучом. Для пайки целесообразно использовать высокотемпературный припой системы Fe-Mn.

Т.о. лазерная сварка или пайка - является финишной операцией изготовления инструмента. Поэтому те характеристики точности, шероховатости и товарного вида, заложенные конструктором в процессе проектирования инструмента, не должны ухудшаться после проведения данного процесса. Сочетание лазерной сварки с предварительной лазерной вырезкой полотна дискового инструмента может объединяться в общий технологический цикл. Таким образом, приобретение инструментальным производством качественного лазерного оборудования является выгодным капиталовложением в дальнейшее развитие производства.

Лазерная резка. Более половины используемых лазерных комплексов сегодня используется для резки металла. При увеличении мощности лазерного излучения до 2-3 кВт толщина разрезаемой стали может достигать до 20 мм. Весьма перспективным в плане раскроя цветных металлов являются импульсно-периодические режимы работы лазерного технологического оборудования, а также использование мощных твердотельных лазеров. Выходная мощность отдельных зарубежных образцов таких лазеров уже достигает несколько кВт, что повышает скорость, точность

резания и качество реза. Исходя из этих позиций место лазерной резки, например, черных металлов определено сегодня до толщин 15-20 мм. Для более толстых целесообразнее использование плазменной и особенно узкоструйной плазменной резки. В то же время для резки камня, стекла, гранита, мрамора весьма перспективно использование водноабразивной струи высокого давления. Что касается раскроя неметаллических материалов, таких как древесина, пластмасса, резина, кожа, то использование лазерных методов здесь бесспорно.

Примером может здесь служить разработанная в институте технология изготовления прорезей под ножи в фанерных заготовках при изготовлении штампочных форм для изготовления картонной упаковки. Традиционно это выполнялось практически вручную с использованием лобзиковых пил. С помощью лазерного луча удается получать прорезы в фанере толщиной 18-20 мм с нужным качеством: ширина реза 0,7-1,0 мм, достаточной параллельностью стенок и др. При этом обеспечивается полная автоматизация этого процесса. Созданный нами комплекс под эти задачи уже более 5-ти лет успешно работает на одном из крупнейших в Европе Киевском картонно-бумажном комбинате. Вторым примером может являться использование аналогичной технологии на Минском авиаремонтном заводе 407ГА, где производят вырезку иллюминаторов самолетов из оргстекла толщиной ~ 30 мм и др. деталей.

Литература

1. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Зуев И.В., Кокора А.Н. // Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов. Справочник. М.: Машиностроение, 1985
2. Миркин Л.И. // Физические основы обработки материалов лучами лазера. М.: МГУ 1985
3. А.Г. Григорьянц, А.Н. Сафонов // Методы поверхностной лазерной обработки. М.: Высшая школа 1987
4. Коваленко В.С., Головкин Л.Ф., Черненко В.С. // Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера. Киев. «Техника» 1990.
5. Памфилов Е.А., Борзенкова Т.Г. // Повышение износостойкости твердых сплавов лазерным упрочнением // Вестник машиностроения, 1982, № 3, с. 61-63.
6. Голубев В.С., Кабакович М.В., Пархимович В.В. и др. // Новое в применении лазерной термической обработки деталей и инструмента. Мн.: БелНИИТИ, 1986.
7. Астапчик С.А., Голубев В.С., Маклаков А.Г., Ваганов В.В. // «Технологии Физтех», Мн., 1999, с. 52-79.