

УДК621.79

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАЗЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЦЕХАХ ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

¹Яшина М.А., ²Трунова И.Г., ²Пачурин Г.В., ¹Шевченко С.М.

¹ФГБОУ ВПО Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина, Нижний Новгород, e-mail: shevchenko.sm@mail.ru

²ФБГУ ВО Нижегородский государственный технический университет им. Р.А. Алексеева, Нижний Новгород, e-mail: pachuringv@mail.ru

Лазерная резка экономически эффективна в условиях мелко - и среднесерийного быстропереналаживаемого производства при обширной номенклатуре выпускаемых изделий, к которым предъявляются повышенные требования в отношении качества кромки и точности размеров. Работа оператора лазерного оборудования сопровождается воздействием комплекса опасных и вредных производственных факторов. Количественные и качественные характеристики производственных факторов зависят от физико-химических свойств обрабатываемого материала и пространственно-энергетических характеристик лазерного излучения. При работе с лазерным оборудованием человек может подвергаться воздействию прямого, рассеянного и отраженного лазерного излучения. Вместе с тем при работе с лазерами возможно выделение вредных аэрозолей, газов и паров. Разработка мероприятий по устранению воздействия неблагоприятных факторов производства позволит улучшить условия труда, снизить травматизм, профессиональный риск и профессиональные заболевания сотрудников. В работе представлены результаты расчета системы газоочистки, позволяющей улучшить условия труда оператора на участке гибкого автоматизированного производства и предотвратить загрязнение окружающей среды высокотоксичными выбросами.

Ключевые слова: лазерные технологические комплексы, условия труда, охрана труда, гибкое автоматизированное производство, система вентиляции, газоочистка, вредные вещества

THE ISSUE OF USE LASER EQUIPMENT IN THE SHOPS OF FLEXIBLE AUTOMATED PRODUCTION

¹Yashina M.A., ²Trunova I.G., ²Pachurin G.V., ¹Shevchenko S.M.

¹FGBOU VPO Nizhny Novgorodstate pedagogical university. K. Minin, Nizhny Novgorod, e-mail: shevchenko.sm@mail.ru

²FBGU VO Nizhny Novgorodstate technical university. RA Alekseeva, Nizhny Novgorod, e-mail: pachuringv@mail.ru

Laser cutting - a process that can be implemented at a high level of automation and is part of the flexible automated production. The process is cost-effective in the conditions of small - and medium series production with bystroprenalazhivaemogo extensive range of products, which are increased requirements for edge quality and dimensional accuracy. The work is accompanied by the laser equipment operator exposure to complex hazardous and harmful factors. Quantitative and qualitative characteristics of the production factors depend on the physical and chemical properties of the material being processed and the space-energy characteristics of the laser radiation. In operation, the laser equipment may be exposed to a person directly scattered and reflected laser radiation. However, when working with lasers may be released harmful aerosols, gases and vapors. Development of measures to address the impact of adverse factors of production will improve working conditions, reduce injuries, occupational risk and professional staff of the disease. The results of the calculation of the gas cleaning system, which allows the operator to improve the conditions of work in the area of flexible automated production and prevent environmental pollution by highly emissions.

Keywords: laser technological complexes, working conditions, health and safety, flexible automated production, ventilation system, gas cleaning, harmful substances

Намечающиеся тенденции развития промышленности в Российской Федерации способствуют появлению новых производств, внедрению более совершенных ресурсо- и энергосберегающих технологий [10-17]. Вместе с тем современное производство продолжает оставаться источником опасных и вредных производственных факторов, исключить которые представля-

ется затруднительным, но уменьшить или ограничить их действие вполне возможно. Высокий уровень профессиональных заболеваний, отмечающийся в нашей стране, требует наряду с внедрением высокотехнологичного оборудования [1-3] пристального внимания к обеспечению безопасных и здоровых условий труда [6,7].

Лазерные технологические комплексы являются одними из составляющих современного производства. Лазерная резка металла отличается от других видов резки тем, что лазерный луч разрезает различные материалы, вне зависимости от их теплофизических свойств, воздействует на небольшую зону поверхности, тем самым экономится используемый материал. Это обусловлено высокой мощностью и концентрированной энергией лазерного луча. В течение и по окончании процесса обработки металлических листов, дефектов практически не наблюдается, резка выполняется с высокой точностью. Преимущества лазерной резки [5] неоспоримы:

- высокая скорость разделения металла;
- идеальная поверхность реза;
- отсутствие дополнительной обработки;
- высокая производительность процесса;
- экономия материала благодаря малой ширине реза;
- незначительная зона термического воздействия;
- изготовление изделий любой сложности в единичных экземплярах;
- высокая повторяемость сложных изделий в любых количествах;
- отсутствие деформации материала;
- используя возможности лазерной резки, можно раскроить по сложному контуру практически любой листовой материал;
- отсутствует механическое воздействие на обрабатываемый материал.

Лазерная резка – это процесс, который может быть реализован на высоком уровне автоматизации и является частью гибкого

автоматизированного производства. Процесс экономически эффективен в условиях мелко- и среднесерийного быстропереключаемого производства при обширной номенклатуре выпускаемых изделий, к которым предъявляются повышенные требования в отношении качества кромки и точности размеров, и при толщине разрезаемого листа не более 20 мм, т.е. в тех случаях, когда необходимо иметь большое количество штамповой оснастки различных типоразмеров.

Лазерная резка металла осуществляется на лазерных технологических комплексах, позволяющих в зависимости от назначения и состава входящих в него устройств обрабатывать изделия сложной плоской или объемной формы.

Лазерно-технологический комплекс – это лазерная технологическая установка, в состав которой входят: манипулятор изделия или оптики, вспомогательная технологическая оснастка и общая система управления для проведения технологических операций. Все части лазерно-технологического комплекса тесно связаны между собой для выполнения технологического процесса.

Лазерная гравировка применяется в таких областях как машино- и приборостроение, для маркировки деталей, узлов, промышленных панелей, изготовлении шильд, инвентарных бирок и этикеток, в ювелирной промышленности для гравировки драгоценных металлов. Лазерная гравировка имеет явные преимущества по сравнению с другими видами нанесения информации: отсутствие расходных материалов. Лазерный комплекс предназначен для применения в задачах, требующих максимально высоких

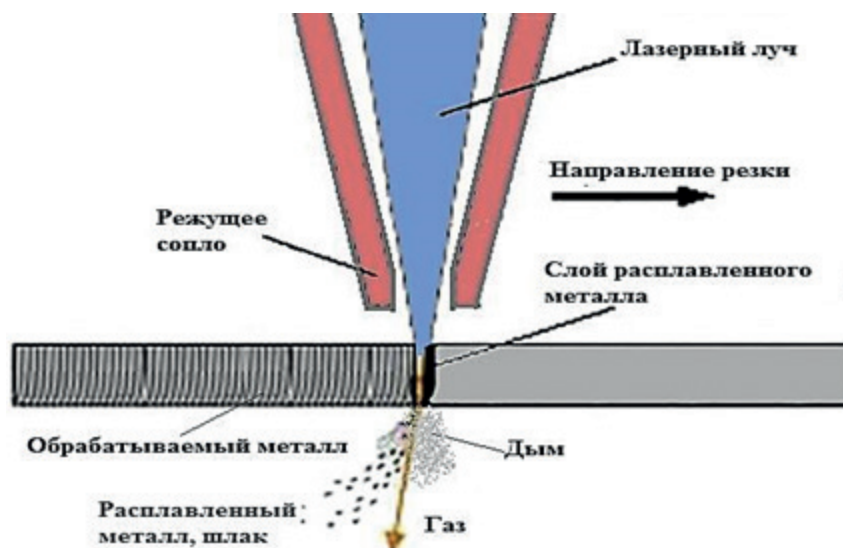


Рис. 1. Схема лазерной резки

скоростей и точностей обработки, характерных для высокопроизводительного серийного производства или требовательных к графическому качеству применений [5]. Для маркировки мелких и средних по размерам и массе изделий при их ручном позиционировании в зоне маркировки могут быть применены различные лазерные комплексы. Одним из таких комплексов может быть «FMark-20 NS». Лазерные комплексы этой серии используются для маркировки и гравировки изделий из любых типов металлов (чистых и с покрытиями), пластиков, твердых сплавов, а также некоторых видов керамики и резины и пр. В состав комплекса входит 2-х осевой сканатор с фокусирующим объективом, который имеет возможность вращения относительно продольной оси излучателя на угол 360 градусов. Излучатель с отклоняющей системой и фокусирующим объективом может быть снят с рамы и установлен на другое основание, в том числе и в существующую производственную линию. Принцип лазерной маркировки состоит в воздействии сфокусированного луча лазера на поверхность обрабатываемого изделия. Результатом этого воздействия является изменение структуры и цвета материала, его расплавление, испарение поверхностных слоев материала или покрытий. Преобладание того или иного эффекта воздействия зависит от вида маркируемого материала, типа лазера, режимов обработки.

Работа оператора лазерного оборудования сопровождается воздействием комплекса опасных и вредных производственных факторов. Количественные и качественные характеристики производственных факторов зависят от физико-химических свойств обрабатываемого материала и пространственно-энергетических характеристик лазерного излучения.

Наиболее неблагоприятными первичными производственными факторами для лазерного технологического оборудования являются отраженное лазерное излучение, импульсный шум и загрязнение воздуха вредными веществами, образующимися при воздействии лазерного излучения на обрабатываемый материал. При работе с лазерами возможно выделение вредных аэрозолей, газов и паров. Основное количество вредных веществ поступает в воздух рабочей зоны в виде аэрозольных частиц преимущественно фиброгенного действия с аэродинамическим диаметром меньше 10 мкм, представляющих наибольшую опасность для органов дыхания. В зону дыхания резчиков (Единая отраслевая политика Госкорпорации «Росатом» и её организаций в области охраны труда (утверждена прика-

зом Госкорпорации «Росатом» от 29.11.2013 № 1/1309-П) могут поступать сварочные аэрозоли, содержащие в составе твердой фазы различные металлы (железо, марганец, кремний, хром, никель, медь, титан, алюминий, вольфрам и др.), их окисные и другие соединения, а также газообразные токсические вещества (фтористый водород, тетрафторид кремния, озон, окись углерода, окислы азота и др.).

Воздействие на организм твердых и газообразных токсических веществ в составе сварочных аэрозолей может стать причиной хронических и профессиональных заболеваний. Это вызывает необходимость усовершенствования существующих и разработки новых методов обеспечения безопасных и здоровых условий труда [4,8].

К помещениям, в которых эксплуатируется лазерное оборудование, предъявляется ряд требований, основными из которых, согласно ГОСТ 31581-2012 «Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий», являются:

- воздух рабочей зоны в рабочих помещениях должен соответствовать оптимальным параметрам, в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1).

- помещение должно быть оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией для удаления загрязненного воздуха с последующей его очисткой, обеспечивающей санитарные требования, к чистоте воздуха, согласно ГОСТ 12.1.005-88.

- рабочие места должны быть оборудованы местными вытяжными устройствами для отвода сварочных аэрозолей и газов, встроенные в оборудование с целью исключения попадания в рабочее помещение продуктов взаимодействия лазерного излучения с обрабатываемыми материалами. В случае использования веществ I и II классов опасности и вредности должна быть предусмотрена аварийная вентиляция и блокировка системы вентиляции с производственным оборудованием. Общая вытяжная вентиляция помещения должна иметь производительность, зависящую от мощности используемого лазера и размеров помещения, но не менее 1000 м³/час.

- Удаление продуктов горения из рабочей зоны координатного стола должно обеспечиваться отдельным вентилятором с производительностью, зависящей от мощности используемого лазера и размеров стола, но не менее 700 м³/час. При выполнении лазерной резки к материалам, поступающим на операции, также предъявляется ряд тре-

бований. Металл, поступающий на резку, должен быть очищен от краски (особенно на свинцовой основе), масла, окалины, грязи для предотвращения разбрызгивания металла и загрязнения воздуха испарением и газами. При резке окрашенного, загрунтованного металла его необходимо очистить по линии реза или шва. Ширина очищаемой от краски полосы должна быть не менее 100 мм. процессы лазерной резки металлов сопровождаются значительными выделениями мелкодисперсных аэрозолей с размером частиц от десятых долей микрон до 3-5 мкм и концентрации таких загрязнений являются достаточно высокими, в помещениях должны быть обязательно предусмотрены системы вентиляции и газоочистки. В качестве таких систем могут быть предложены высокоэффективные устройства фильтрации. Их применение позволит удалить выделяющиеся газы и уменьшить количество дыма, который может оседать на оптику внутри системы фокусировки луча.

В настоящее время для лазерного оборудования марки FMark-20NS на участке «Лазерная резка металлов» в цехе гибкого автоматизированного производства этого не предусмотрено.

В воздухе участка содержатся такие высоко опасные вещества, как оксиды железа, марганца, алюминия. Их воздействие на организм человека приводит к серьезным отклонениям в состоянии здоровья.

Аэрозоли оксида железа (II) при длительном воздействии откладываются в лёгких и вызывают болезнь сидероз – разновидность пневмокониоза с относительно доброкачественным течением, при вдыхании такого воздуха происходит раздражение дыхательных путей, разрушение легких, плевры, нарушения функции печени, желудочно-кишечные заболевания. При воздействии на кожу возможны аллергические дерматиты. Поэтому ПДК для железосодержащих частиц в воздухе рабочей зоны устанавливается в зависимости от типа частиц в интервале от 2 до 4 мг/м³.

При сгорании железного порошка, при операциях, связанных с работой электрической дуги, в окружающую атмосферу поступает дым оксида железа Fe₂O₃, который вызывает патологические изменения функции легких. ПДК для Fe₂O₃ в воздухе (в пересчете на Fe) – 0,04 мг/м³.

Марганец - металл серебристо-белого цвета. Наряду с железом и его сплавами относится к тяжелым металлам. При пероральном поступлении марганец относится к наименее ядовитым микроэлементам. В основном отравление людей наблюдается в случаях хронической ингаляции больших

количеств марганца на производстве. Чтобы развилась клиническая картина хронического отравления марганцем, обычно требуется несколько лет. Она характеризуется достаточно медленным нарастанием патологических изменений в организме и проявляется в виде тяжёлых нарушений психики, включая гиперраздражительность, гипертонику и галлюцинации — «марганцевое безумие». В дальнейшем развиваются изменения, подобные болезни Паркинсона. В первую очередь алюминий действует на нервную систему (накапливается в нервной ткани, приводя к тяжёлым расстройствам функции ЦНС). Наибольший негативный эффект наблюдается у людей с нарушенной выделительной функцией почек.

При лазерной резке нержавеющей стали толщиной 8 мм выделяется 640 г/ч мелкодисперсного аэрозоля. Среднее количество воздуха, удаляемого вытяжными устройствами от таких установок 6-8 тыс. м³/ч, концентрация аэрозолей составляет около 80-120 мг/м³. Длительность одной операции лазерной резки 60-90 секунд, за это время выделяется 12-18 г аэрозоля с концентрацией вредного вещества около 1,5-2,25 мг/м³. В течение 1 часа работы проводится примерно 10 операций, следовательно, в течение 1 часа выделяется 15-22,5 мг/м³, что превышает ПДК = 6 мг/м³ в 3,75 раз (ГОСТ 31581-2012 «Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий»).

Согласно СП 1009-73 «Санитарные правила при сварке, наплавке и резке металлов» количество воздуха, необходимого для разбавления вредных веществ по ПДК при резке представлено в табл. 1.

Для лазерного оборудования марки FMark-20NS был рассчитан вытяжной зонт, размеры которого составили: ширина 1,01 м, длина 1,32 м, высота 1,21 м. Средняя скорость всасывания аэрозолей под зонт составляет 0,27 м/с. По рассчитанному объему отсасываемого воздуха был подобран вентилятор радиальный типа ВЦ-14-46-2, обеспечивающий производительность в пределах 1100-1440 м³/ч.

Токсичность возгонов черных и цветных металлов, выделяющихся при лазерной резке и удаляемые системой вентиляции при выделении в окружающую среду (атмосферу) наносят вред окружающей природной среде, включая атмосферу, гидросферу и литосферу. Нормируемое содержание пылевидных частиц в воздухе не должно превышать 2 мг/м³, а при лазерной резке стали толщиной 1 мм выделяется 0,45 грамм аэрозоля на 1 м длины реза.

Следовательно, в системах вентиляции

Таблица 1
Количество воздуха, необходимого для разбавления вредных веществ по ПДК при тепловой резке

Виды работ	Вредные вещества, определяющие воздухообмен			Кол-во воздуха, м ³
	Наименование	Измеритель	Количество	
Резка углеродистых и низколегированных сталей	Железа окись с примесью марганца (до 3%)	Грамм на 1 м длины реза, толщиной 1 мм	0,45	450
Резка высокомарганцевых сталей	Марганец	То же	0,12	2400
Резка титановых сплавов	Титан и его двуокись	То же	0,15	3000

должны быть установлены устройства, позволяющие предотвратить выделение вредных веществ в атмосферу. Одним из таких устройств может служить фильтр тонкой очистки. Рукавный фильтр относится к группе высокоэффективных пылеуловителей сухого типа. Он предназначен для очистки аспирационных выбросов предприятий металлообработки.

В эксплуатации данный вид фильтрующего оборудования экономичен, долговечен, надежен, прост в обслуживании, обеспечивает высокую, близкую к 100 % степени улавливания пыли, имеет высокую степень автоматизации управления его работой. Кроме того, он универсален тем, что его конфигурация и габаритные размеры могут быть различны, с учетом размера рабочего места под рукавный фильтр.

Состоит фильтр из корпуса прямоугольной или круглой формы, бункера, фильтровальных рукавов, которые подвешены внутри корпуса, специальных клапанов и устройства управления регенерации. Регенерацию рукавов проводят после предельного накопления величины пыли на фильтровальной поверхности рукава. Фильтрующими элементами в нем являются рукава из специальной фильтровальной ткани.

В нормально работающих рукавных фильтрах концентрация пыли на выходе из аппарата обычно не превышает 20 мг/м³. При использовании высокоэффективных фильтровальных материалов и улавливании волокнистых пылей концентрация на выходе может снижаться до 1 мг/м³ и менее.

В работе произведен расчет рукавного фильтра. Технологический расчет фильтра сводится к определению площади фильтровальной перегородки, гидравлического сопротивления фильтровальной перегородки и аппарата в целом, частоты и продолжительности циклов регенерации фильтрующих элементов [9].

Предварительные расчеты показали, что эффективно с поставленной задачей может справиться фильтр марки СМЦ – 100. Общая площадь рассчитанного фильтра с учетом поверхности для регенерации 66 м². Устанавливается фильтр до вентилятора, на его всасывающей линии, т.к. воздух, очищенный в рукавах нагнетательных фильтров, поступает непосредственно в помещение, где установлены фильтры, что недопустимо в данной ситуации.

Рассчитанный вытяжной зонт, оснащенный подобранным радиальным вентилятором типа ВЦ14-46-2 с рукавным фильтром марки СМЦ – 100, может быть применен для удаления мелкодисперсного аэрозоля, выделяющегося при лазерной резке на FMark-20NS и может обеспечить эффективное удаление вредных аэрозолей из рабочей зоны оператора.

Предложенная система газоочистки позволит улучшить условия труда оператора на участке гибкого автоматизированного производства и предотвратит загрязнение окружающей среды высокотоксичными выбросами.

Список литературы

1. Пачурин Г.В. Коррозионная долговечность изделий из деформационно-упрочненных металлов и сплавов: Учебное пособие. – 2-е изд., доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 160 с.
2. Пачурин Г.В., Щенников Н.И., Курагина Т.И., Филиппов А.А. Профилактика и практика расследования несчастных случаев на производстве: Учебное пособие / Под общ. ред. Г.В. Пачурина. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Изд. «Лань», 2015. – 384 с.
3. Пачурин Г.В., Кудрявцев С.М., Соловьев Д.В., Наумов В.И. Кузов современного автомобиля: материалы, проектирование и производство: Учебное пособие / Под ред. Г.В. Пачурина. – 3-е изд., перераб. и доп. - СПб.: Издательство «Лань», 2016. - 316 с.
4. Пачурин Г.В., Елькин А.Б., Миндрин В.И., Филиппов А.А. Основы безопасности жизнедеятельности: для технических специальностей: учебное пособие / Г.В. Пачурин
5. Рахманов Б.Н., Чистов Е.Д. Безопасность при эксплуатации лазерных установок. - М.: Машиностроение, 1981. - 113 с.

6. Щенников Н.И., Курагина Т.И., Пачурин Г.В. Роль психологического фактора в анализе и профилактике производственного травматизма // Безопасность труда в промышленности. - 2010. - № 7. - С. 28-31.
7. Щенников Н.И., Курагина Т.И., Пачурин Г.В. Психологический акцент в анализе производственного травматизма и его профилактики // Современные проблемы науки и образования. - 2009. - № 4. - С. 162-169.
8. Филиппов А.А., Пачурин Г.В., Кузьмин Н.А. Оценка опасных и вредных факторов при производстве калиброванного проката и их устранение технологическими методами // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - № 7-2. - С. 161-164.
9. Очистка воздуха при плазменной, лазерной резке и сварке металлов URL: <http://www.folter.ru/images/file/ochistka%20vozduxa%20pri%20plazm%20rezke.pdf> (Дата обращения 30.11.2016 г.)
10. Guslyakova G.P., Zhbannikov S.I., Pachurin G.V. Fatigue failure resistance of deformed structural steels // Materials Science. - 1993. - Т. 28. - № 2. - С. 182-185.
11. Gushchin A.N., Pachurin G.V. Fatigue fracture of the welded joints of commercially pure titanium after thermal cycling // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. - 2007. - Т. 48. - № 2. - С. 46-51.
12. Pachurin G.V. Ruggedness of structural material and working life of metal components // Steel in Translation. - 2008. - Т. 38. - № 3. - С. 217-220.
13. Pachurin G.V., Filippov A.A. Economical preparation of 40X steel for cold upsetting of bolts // Russian Engineering Research. - 2008. - Т. 28. - № 7. - С. 670-673.
14. Pachurin G.V., Filippov A.A. Cost-saving technology of preparing 40x steel for cold heading of fasteners // Journal of Engineering. - 2008. - № 7. - С. 53.
15. Pachurin G.V. Life of plastically deformed corrosion-resistant steel // Russian Engineering Research. - 2012. - Т. 32. - № 9-10. - С. 661-664.
16. Pachurin G.V., Vlasov V.A. // Mechanical properties of sheet structural steels at operating temperatures // Metal Science and Heat Treatment. - 2014. - Т. 56. - № 3-4. - С. 219-223.
17. Filippov A.A., Pachurin G.V., Naumov V.I., Kuzmin N.A. Low-Cost Treatment of Rolled Products Used to Make Long High-Strength Bolts // Metallurgist. - 2016. - Vol. 59. - Nos. 9-10. January. - С. 810-815.