

Казанский Федеральный Университет
Кафедра высоковязких нефтей и природных битумов
Kazan Federal University,
Department of high-viscosity oils and natural bitumen
Лазерная сварка, пайка и резка металлов
Laser welding, soldering and cutting of metals

Демченков Даниил Владимирович, Demchenkov Daniil Vladimirovich¹

Кемалов Руслан Алимович, Kemalov Ruslan Alimovich²

магистрант кафедры высоковязких нефтей и природных битумов¹

кандидат технических наук, доцент кафедры высоковязких нефтей и природных битумов,

Член Экспертного совета РГО, и.о. руководителя группы «Водородная и альтернативная»²

Казань, Россия

E-mail: mister-daniil-2000@mail.ru,^a, kemalov@mail.ru

Аннотация: В статье представлена информация об актуальностях, особенностях, технологических процессах, преимуществах и недостатках лазерной сварки, пайки и резки металлов.

Ключевые слова: лазерная сварка, пайка и резка металлов, обзор

Abstract: The article provides information about the relevance, features, technological processes, advantages and disadvantages of laser welding, soldering and cutting of metals.

Keywords: laser welding, soldering and cutting of metals, overview

ВВЕДЕНИЕ (Introduction)

В нефтяной промышленности довольно часто используют сверхточное лазерное оборудование для пайки, резки и сварки металлов. Обычное промышленное оборудование в некоторых моментах не справляется с поставленными задачами, или даже в какой-то степени может привести к необратимым последствиям и порче определенных участков металла или цельной конструкции. Для минимизирования рисков на производстве используют специальное лазерное оборудование.

1. Актуальность лазерного оборудования

Лазерное оборудование широко используется в различных отраслях промышленности. Этому способствовала высокая точность, качество и эффективность работ, минимальные требования к обслуживанию. Лазерное оборудование позволяет выполнять широкий спектр обработки материалов: резка, сварка, сверление, гравировка, пайка и пр. Познакомимся подробнее с технологией лазерной пайки.

2. Лазерная пайка

2.1 Особенности

Речь идет о бесконтактном способе получения неразъемных соединений деталей из разных материалов. В классическом варианте, большинство паяк осуществляется при помощи введения между совмещаемыми поверхностями слоя расплавленного металла (припоя). Пайка лазером эффективная и без припоя. Она нашла применение в таких отраслях:

- Ювелирные изделия. Изготовление колец, сережек, браслетов и других украшений нередко предполагает объединение разных материалов. Процесс существенно усложняется тем, что работа предстоит с очень мелкими деталями. Наличие незначительных дефектов и даже просто, следов производимых манипуляций – недопустимо. Луч лазера имеет диаметр в десятые доли миллиметров и воздействует точно. Он может соединять между собой разные драгоценные металлы, металлы и камни.
- Монтаж печатных плат. При помощи точно сфокусированного луча можно соединить контакты, площадь которых не превышает 1 мм². Это позволяет получать очень прочные, тонкие швы без малейшего контакта рабочего инструмента с поверхностью, что исключает ее перегрев, деформации. Ни один другой способ пайки не дает такого результата, как лазерные аппараты.
- Ремонт оправы очков. Лазерной пайкой можно восстановить целостность оправы, изготовленной практически из любых материалов, в том числе и тех, которые были повреждены в области переносицы. Также данный

способ позволит отремонтировать пружинки держателя носового упора, заушин, другие подвижные крепления. Технология может использоваться и для выполнения других работ, где требуется высокая точность и прочность соединения.

2.2 Технология процесса

Процесс пайки лазером мало чем отличается от других способов обработки материалов данным оборудованием. В излучателе формируется мощный поток энергии. Проходя через оптическую систему, он формируется в узкий и точно направленный луч. Он оказывает на поверхность точечное воздействие, нагревая материал до температуры плавления. В этот момент выполняется соединение двух заготовок. После остывания, металл снова затвердевает, образуя очень прочное неразъемное соединение.

Технология сама по себе не сложная, но паять лазером сможет далеко не каждый. Основная сложность состоит в том, что работы ведутся с очень мелкими деталями, обладающими уникальными химическими свойствами. А здесь важно не только получить прочное соединение, но и не нарушить структуру соседних поверхностей, не вызвать их деформаций, изменения цвета.

2.3 Преимущества и недостатки

Современная промышленность и ювелирное дело использует для пайки разные методы, но лазер не имеет здесь конкурентов. Этому способствовал ряд весомых преимуществ:

- Высокое качество шва. Он совершенно незаметен. Визуально готовое изделие смотрится, как цельнолитое. При этом гарантируется отличная прочность соединения – работы выполняются на станках с численно-программным управлением.
- Возможность работы с самыми мелкими деталями. Обеспечивается минимальной толщиной луча и его точной направленностью на поверхность.
- Исключение деформаций заготовки, изменения цвета и появления прочих дефектов, которые имеют место при нагреве слишком большой площади. Луч лазера воздействует на заготовку точно.

- Можно регулировать мощность излучения. Позволяет подбирать оптимальные рабочие параметры для каждого материала. Обеспечивает возможность работы в разных режимах.
- Можно соединять элементы разного состава. Далеко не все альтернативные способы пайки могут это гарантировать.
- Высокая скорость работ с сохранением идеальной точности. Особенно актуально это достоинство на серийных производствах с большим объемом ежедневной загрузки.
- Идеальная чистота обрабатываемой поверхности. Не остается никакого нагара и прочих загрязнений в месте обработки.
- Тишина рабочего процесса. Станок работает практически бесшумно.

Если говорить о недостатках, то здесь стоит отметить высокие требования к профессионализму персонала. Чтобы качественно выполнить предстоящие работы следует знать множество нюансов, то есть быть мастером своего дела.

2.4 Материалы для пайки

При помощи лазерного оборудования можно выполнять пайку различных металлов и их сплавов: титана, стали, меди, серебра, золота, платины, биметаллов, тугоплавких и пр. Также есть возможность соединять металл и драгоценные камни.

3. Лазерная сварка

При проведении обычных методов сварки металла сложно обеспечить качественный шов, его дальнейшую обработку (особенно, для сложных конструкций), сохранить форму заготовок (деформация и расслоение встречаются очень часто). Есть проблемы и при креплении друг к другу заготовок из разных металлов. Лазерная сварка позволяет получить не только глубокий, прочный и однородный шов, но и очень точное крепление изделий сложной конфигурации. Это обеспечивается и специальным оборудованием, и возможностью ручной или автоматической настройки технических параметров, и особенностью технологии использования лазерного луча.

3.1 Технологические особенности лазерной сварки

Суть метода – управление монохромным световым потоком. Сварочное оборудование оснащено линзами – они фокусируют поток волн одинаковой длины, и управляющими призмами – они обеспечивают волновой резонанс для обеспечения необходимой мощности пуска.

В какой-то мере у лазерной и газовой сварки есть общий принцип действия – узконаправленный поток разогревает металл, оплавляет его и образует сварочную ванну. В нашем случае происходит поглощение металлом энергии лазерного пучка: за счет фокусирования потока в точке сварки (или на шве) происходит очень сильный и быстрый нагрев материала, но нагревается очень небольшая площадь металла вокруг. За счет локальной площади и быстрого нагрева остывание шва и скрепленных элементов происходит тоже быстро: это времени гораздо меньше, чем при использовании других способов сваривания.

Управление фокусом светового потока позволяет менять мощность луча. Для увеличения мощности луча его фокусируют – поток последовательно отражается от полусферических зеркал, пропускается через переднее зеркало и с помощью системы призм подается в рабочую зону.

Расположение соединяемых деталей может быть любым. Надежный и долговечный шов можно создать за счет управления глубиной проплавления, вплоть до сквозного, или используя оборудование с разными режимами работы – с непрерывным лучом или с подачей прерывистых импульсов.

Лазерная сварка позволяет соединять элементы из листового проката небольшой толщины и сложные толстостенные детали, или детали с разными физическими свойствами (например, медь с алюминием, или соединение деталей из чугуна). Но самой важной особенностью данного вида сварки является возможность работы с титановыми деталями.

Особенность титана – высокая химическая активность к водороду и кислороду в расплавленном состоянии. Как результат, при использовании любых других сварочных технологий в зоне плавления образуется большой объем газов и холодные трещины. Соединение титановых элементов с помощью лазера

исключает эти негативные последствия за счет использования защитной смеси из гелия и аргона.

В качестве сварочного оборудования используются специальные аппараты (станки) – ручные и промышленные, которые позволяют выполнять как точечное, так и шовное сваривание.

3.2 Промышленное оборудование для газовой сварки

Основная комплектация промышленного сварочного оборудования всегда одинаковая:

- Технологический лазер (твердотельный или газовый).
- Сварочная головка с линзой.
- Блок фокусировки.
- Блок перемещения луча и заготовки.
- Система подачи газов, которые используются для защиты поверхности свариваемых элементов (поверхностей).
- Система управления – мощности лазера, его перемещения и фокусировки.
- Оптический резонатор.
- Источник питания.
- Система охлаждения.

Сварочные аппараты могут оснащаться микроскопами или CCD-мониторами: они помогают контролировать рабочие процессы, связанные с ремонтом (сварка, пайка) очень маленьких заготовок.

Сварочное оборудование выпускается в нескольких компоновках. Это могут быть и консольные или порталные станки, и роботы-манипуляторы. Управление оборудованием осуществляется в автоматическом (установлены системы ЧПУ) или ручном режимах (с помощью выносного пульта). В первом случае предусмотрено использование специальных программ, во втором – управление скоростью, перемещением и параметрами рабочего процесса возложено на подготовленного оператора.

В промышленном оборудовании используется один из двух видов лазера твердотельные или газовые, и гибридные установки.

3.3 Твердотельные лазеры

Твердотельный лазер представляет собой стержень из искусственного рубина (смесь ионов хрома и оксида алюминия) или стекла с напылением из неодима, отполированный до зеркального блеска. При работе оборудования используется непрерывный или импульсный (дискретный) световой поток от излучателя: при облучении стержня лампочкой накачки происходит отражение и переизлучение светового потока на частоте, на которой работает лазер.

Оборудование отличается низкой мощностью и ограниченным КПД. Используется при сварке небольших (по размеру и толщине стенок) деталей из цветных металлов (медь, серебро, алюминий, нержавеющей стали), пластмасс, стекла.

3.4 Газовые лазеры

Газовые лазеры, как активный излучатель, представляет собой стеклянную трубку (колбу) с азотом, гелием и углекислым газом под очень высоким давлением. Она снабжена несколькими электродами и торцевыми зеркалами для многократного отражения и усиления импульсов.

При подаче напряжения на электроды возникают электрические разряды, которые обеспечивают возбуждение смеси (она находится под высоким давлением) и пропускание лазерного луча.

Это очень мощное оборудование, которое используется для сварки толстостенных элементов (1- 2 см) и требует дополнительного охлаждения (устанавливается водяной контур).

Разновидностью такого оборудования являются газодинамические установки. Они мощнее, чем обычные газовые, так как используемый газ сначала нагревают в пределах 1000 – 3000 К перед выходом из сопла, а потом охлаждают в резонаторе. В момент охлаждения молекулы теряют энергию, за счет которой образуется когерентное излучение. Такие конструкции используют при работе с заготовками толщиной 30-35 мм, а скорость сваривания составляет до 200 погонных метров в час.

3.5 Гибридные установки

Кроме твердотельных и газовых аппаратов используются комбинированные (гибридные) установки. Они используются для соединения заготовок, имеющих большую толщину стенок (от 2 см и более).

Кроме стандартного набора оборудования установлена электродуговая горелка и механизм подачи заготовок в сварочную ванну.

3.6 Отличие лазерной сварки от обычной промышленной

Конструктивно, мало отличается от промышленного оборудования – оно уступает только в размерах. Используется для соединения очень мелких элементов, наплавки материалов, ремонта пресс-форм, изготовления и ремонта электронных плат, работы с микросхемами, дезинфекции медицинских инструментов или изделий.

Это самое дорогостоящее оборудование, так как при сборке используется очень компактные комплектующие.

3.7 Виды и особенности сварки лазером

Используется два вида лазерной сварки:

- Внахлест – с наложением кромок друг на друга. Технология требует очень плотного прилегания (прижима) свариваемых поверхностей со стыком до 0,2 мм.
- В стык – технология не нуждается в применении флюсов (порошков) или присадок, обеспечивает равномерный шов.

Стыковочный метод предусматривает проплавление поверхностей по всей толщине и защиту шва от окисления (используется аргон или азот). Для исключения пробоев лазерного излучения применяют гелий.

Сваривание внахлест предусматривает только локальный прижим заготовок.

По способу (режиму) соединения заготовок сварочные работы делятся на:

- Шовная сварка. Используется оборудование с непрерывной или импульсной подачей лазерного излучения. Шов получают при помощи перекрытия зон нагрева – он отличается достаточно глубоким.

- Точечное соединение. Применяется только импульсное излучение. Используется при соединении небольших или тонкостенных деталей.
- Гибридная сварка. Технология предусматривает использование присадочных порошков и дополнительного оборудования – механизмов синхронной подачи проволоки (ленты) или присадочного материала в зону плавления параллельно со сварочной головкой. Используется при создании сложных конструкций.

3.8 Плюсы и минусы лазерной сварки

Использование лазерной технологии обеспечивает соединение очень высокой плотности. При этом отсутствуют дефекты, характерные другим методам – пористость, большой объем шлака, нагрев большой площади в местах соединения и долгое остывание готовой конструкции. У лазерной сварки этого нет.

Данная технология имеет преимущества, которых нет у других видов сварки:

- Высокая скорость выполнения работ за счет большой мощности оборудования.
- Площадь соединяемых элементов нагревается незначительно за счет высокой скорости работ: это обеспечивает минимальный риск деформации (коробления) и расслаивания обрабатываемых материалов.
- Передача лазерного луча по оптоволокну: проваривание осуществляется в самых труднодоступных местах сложных конструкций и может выполняться на большом удалении от лазера.
- Оборудование можно использовать и как сварочное, и как режущее: актуально для предприятий по обработке металла.
- Высокое качество сварного шва или точки.
- Процесс сваривания легко контролируется – можно управлять (регулировать) производительностью оборудования.
- Лазерная технология может использоваться для соединения разных материалов – в том числе, магнитных сплавов, керамики, термопластов.
- Небольшой размер соединения в месте сварки.

- В процессе работы отсутствует рентгеновское излучение и вредные продукты сгорания.
- Процедура может выполняться при нахождении заготовок за светопрозрачными экранами.

Минимум времени для изменения настроек оборудования при работе с новыми изделиями или материалами.

Совершенных или идеальных решений нет – у каждой технологии свои недостатки. Свои минусы есть и у лазерной сварки:

- Высокая стоимость оборудования, расходных материалов и запчастей: используется только на крупных предприятиях.
- Ограниченный КПД: для твердотельных установок – не более 1%, для газовых – максимум 10%.
- Для работы с оборудованием требуется специальное образование.
- Эффективность работы оборудования напрямую зависит от способности заготовок отражать световой поток.
- Для помещений, в которых устанавливается и эксплуатируется оборудование, предъявляются очень высокие требования к показателям влажности, чистоты воздуха (запыленность) и вибрации.

Риск получения глубоких ожогов оператором (только при условии несоблюдения правил эксплуатации оборудования).

В процессе проведения сварочных работ могут возникать дефекты шва – непроваренные участки, трещины, пустоты, сквозные отверстия, раковины, образование шлака. Но это следствие или неправильной настройки оборудования, или низкой квалификации оператора (обслуживающего персонала). Как вариант – не контролировался рабочий процесс.

3.9 Особенности сварки материалов с разными физическими свойствами

При любом виде сварки учитываются особенности соединяемых материалов. Это относится и к сварке с помощью лазера.

Сталь. Требование к поверхностям – отсутствие любых загрязнений (ржавчины, пыли, следов масла или нефтепродуктов) и тщательная сушка. Оптимальный вариант соединения – в стык: использование других вариантов повышает риск деформации шва. При работе используется смесь аргона и углекислого газа.

Магний, алюминий. Металлы активно взаимодействуют с воздухом (быстро образуется оксидный налет с высокой температурой плавления). Подготовка поверхности аналогична процедурам при электродуговой сварке – удаление налета, протравливание химическими реагентами, промывка водой. При сварке обязательно используется инертный газ.

Титан и сплавы. С поверхности удаляется грязь и налет, протравливаются места сварки, повторно очищаются механическим путем. Для исключения риска образования холодных трещин используется чистый гелий, а при кристаллизации шва используют аргон.

Стекло. При работе используются как стандартные газовые смеси в паре с гелием (имеет плазмоподавляющие свойства), так и комбинированные (с защитными свойствами и подавлением плазмы) – зависит от квалификации оператора.

Пластик. Процесс и смеси – как при сварке стекла. Но важным моментом является своевременная регулировка мощности: материал имеет низкую температуру плавления.

Тонкостенные заготовки и нержавеющая сталь. Оборудование используется на минимальной мощности (регулируется мощность луча и фокусировка точки сваривания). Необходим постоянный контроль скорости перемещения головки при шовной сварке и уменьшение длительности импульсов – при точечном способе соединения. Как вариант – уменьшение КПД установки для исключения сквозного прожига и разбрызгивания металла: выполняю расфокусировку луча.

3.10 Основные правила работы с лазерными сварочными установками

Существует несколько обязательных правил, которые необходимо соблюдать:

- Места сваривания должны быть хорошо просушены: влага с мест соединения приводит к повышенной гидратации, как результат – снижается прочность шва и его долговечность.
- На пути прохождения луча не должны находиться предметы, тем более, руки оператора: можно получить некачественный шов и глубокие ожоги тела.
- Перед началом работы проверяется целостность всех элементов сварочного оборудования: неисправность любого элемента приводит к снижению качества шва.
- Запрещено держать на рабочем столе легковоспламеняющиеся жидкости и материалы: возможно возгорание.

Для каждого свариваемого материала подбирается свой режим работы: он определяет скорость перемещения лазера от ширины шва, толщины материала и его физических свойств.

Максимальный эффект использования лазерной сварки достигается при работе с легированной сталью и чугуном; титаном и медью, их сплавами; керамикой и стеклом, термопластами. Способность лазерного луча разрушать поверхностные окислы без образования новых пленок позволяет сваривать алюминий, титан и нержавеющую сталь без использования флюсов и газовой защитной среды: готовый шов по своему составу не отличается от заготовок и не требует дополнительной обработки.

Особенность технологии обеспечивает минимальную пористость шва: его прочность на 95% соответствует прочности материала заготовок.

3.11 Применение лазерной сварки

Направлений использования лазера для сварки много, но они соединены в

несколько групп:

- Изготовление и ремонт мелких конструкций. Это – микроэлектроника, рекламное и ювелирное направление. Медицина – в этом сегменте: это относится к изготовлению и ремонту медицинских инструментов и зубных протезов.
- Сварка титана для судостроения и атомной энергетики, оборонной и авиакосмической отрасли.
- Приборостроение – для соединения материалов разными толщинами и свойствами. Толщина материалов может достигать десятых долей миллиметра и микрона, а их место монтажа может располагаться максимально близко к микросхемам и чувствительным к нагреву элементам.
- Автомобилестроение – для точечной сварки кузовов, соединения магниевых и алюминиевых сплавов.
- Для соединения элементов из легких цветных металлов и чугуновых заготовок.
- Изготовление и ремонт очень точных механизмов.

Ремонт или изготовление пластиковых, стеклянных и керамических изделий.

4. Лазерная резка металла

Одним из передовых направлений в сфере металлообработки является сегодня лазерная резка металла.

С ее помощью можно производить изделия со сложными геометрическими контурами, обеспечивая высокую точность размеров и качество исполнения кромок.

Услуги по лазерной резке предлагаются многими специализированными компаниями. Причем в этом процессе используется исключительно производительное современное оборудование.

4.1 Технологические процессы лазерной резки металла

Лазерная резка подразумевает сфокусированное воздействие на обрабатываемую поверхность лазерным излучением, нагревание этой поверхности за счет передачи ей большого количества энергии и раскрой материала.

Причем качество раскроя является очень высоким, поскольку температура металла в месте реза значительно возрастает всего за несколько секунд, а размер луча небольшой.

Методика позволяет избежать любых видов механического воздействия на обрабатываемый материал, возникновения временных или остаточных деформаций.

Посредством лазерной резки можно создавать детали различной геометрии. А благодаря использованию в станках высококачественного программного обеспечения специалисты могут значительно повысить скорость протекания процесса.

4.2 Преимущества технологии лазерной резки металла

Для осуществления лазерной резки металла сегодня используется разное оборудование. Наиболее востребованными в данной сфере являются станки на основе волоконных или твердотельных лазеров, газовых СО₂-лазеров. Причем независимо от модели эксплуатируемого оборудования технология имеет множество неоспоримых преимуществ перед альтернативными способами обработки металла.

К этим преимуществам относятся:

1. Возможность резки деформирующихся или хрупких материалов, обусловленная отсутствием механического контакта.
2. Возможность обработки деталей, выполненных из твердых сплавов.
3. Возможность высокоскоростной резки тонких стальных листов.
4. Возможность использования технологии при выпуске ограниченных партий продукции (лазерная резка в данном случае считается более

экономичным вариантом, чем изготовление деталей литьем и посредством пресс-форм).

5. Возможность автоматического раскроя металла по составленному специалистами чертежу.

Все указанные преимущества наряду с высокой точностью результатов, отсутствием деформаций и другими особенностями технологии становятся причиной того, что лазерная резка металла широко применяется в промышленности и производстве.

4.3 Возможности лазерной резки металла

Технология лазерной резки металлов позволяет обрабатывать:

- сталь (обыкновенную и нержавеющей);
- алюминий и его сплавы;
- медь;
- латунь;
- некоторые неметаллы (в частности древесину).

Причем лучше всего воздействию поддаются металлы, обладающие низкой теплопроводностью, поскольку в них энергия лазера способна концентрироваться в меньшем объеме материала. А тип лазера для каждого случая необходимо выбирать отдельно.

4.4 Технология лазерной резки металла на специальных установках

Раскрой металла традиционными способами, например, механическим, не всегда дает желаемые результаты, поскольку она не обладает достаточной точностью, кроме того, не подходит для работы с очень мягкими, тонкими или сверхпрочными материалами.

Установка лазерной резки металла может справиться со всеми поставленными задачами.

Раскрой частей заготовки или детали производится путем локализованного воздействия мощного лазерного пучка, который плавит

металл, а затем испаряет его или выдувает остатки при помощи газа. Этот метод резки имеет высокие преимущества по сравнению со всеми остальными.

Чтобы понять, почему установка лазерной резки металла становится все более популярной, рассмотрим подробно ее технологию и возможности.

Установка лазерной резки может работать на основе волоконных, газовых или твердотельных лазеров.

Станки лазерной резки в основном управляются при помощи компьютера, на который приходит чертеж детали в любом графическом редакторе.

Агрегат самостоятельно распознает все символы и выполняет раскройку согласно заданной схеме с малейшими погрешностями.

Лазерная головка не соприкасается с заготовкой, потому после обработки материал не деформируется, что дает возможность резать даже очень тонкие листовые металлы с высоким уровнем пластичности.

Направленный лучевой пучок может работать как непрерывно, так и периодически, что обеспечивает максимальную точность разреза.

Преимущества технологии лазерной резки металла:

- Возможность обрабатывать хрупкие, легкодеформируемые и тонкие детали;
- Простая раскройка даже самых стойких металлов;
- Раскройка тонкого листового металла на высокой скорости;
- Отсутствие надобности в использовании дорогих форм для литья.

4.5 Где целесообразнее всего использовать установки лазерной резки металла

Преимущественно, установка лазерной резки является целесообразной для больших промышленных предприятий, поскольку на таких станках можно очень быстро и качественно обрабатывать различные материалы.

Также агрегаты будут незаменимы на заводах, которые выпускают большой ассортимент разноплановой продукции, поскольку они отличаются высокой производительной пластичностью, перепрограммирование на различные

процессы происходят в считанные минуты, путем передачи на головной управляющий компьютер установки графического файла с чертежом.

На небольших производствах, где выпускаются лимитированные партии изделий, лазерная раскройка может стать отличной альтернативой литью, поскольку для ее осуществления не нужно изготавливать дорогие пресс-формы.

Однако перед приобретением подобных станков, стоит очень тщательно взвесить целесообразность их применения, поскольку в некоторых случаях лазерные агрегаты можно заменить более дешевыми аналогами.

Обработке лазером чаще всего поддаются такие металлы:

- Медь;
- Латунь;
- Алюминий и его сплавы;
- Сталь;
- Нержавеющая сталь.

Несмотря на то, что лазерная обработка считается одной из самых эффективных, все же существуют материалы, которые подходят для нее в меньшей или большей степени.

Поскольку под воздействием мощного лазерного луча поверхность металла локализовано нагревается, а затем плавится и испаряется, такой метод обработки целесообразнее всего применять к материалам с низкой теплопроводностью.

Если же металл имеет высокую теплопроводность, то под воздействием лазерного луча на нем образовывается грат – это значит, что срезы нужно будет дополнительно обрабатывать, что значительно усложняет технологию.

4.6 Тенденции к использованию лазерных установок для резки металлов

Такое оборудование, как лазерная установка для резки металла, начало все чаще применяться на заводах.

Ранее станки подобного типа не пользовались особой популярностью, поскольку они были достаточно дорогими, также немало обходилось и их обслуживание.

Однако в последнее время научные разработки всецело направлены на снижение стоимости подобных установок. Именно это и послужило столь высокой популяризации агрегатов.

Нельзя сказать, что лазерные режущие станки полностью заменят все другие методы обработки металла, поскольку они не настолько функциональны и подходят только для выполнения ограниченного ряда задач.

Заключение (Conclusion)

Как относительно молодые, но очень перспективные технологии, лазерная сварка, пайка и резка металлов ослабили позиции традиционных методов. Но они используются только на предприятиях, которые используют передовые технологии, и практически не применяются в бытовых целях. Это технологии, которые стоит осваивать, если вы планируете повышать собственные профессиональные навыки.

Список литературы (List of literature)

1. Блистанов А.А. Лазерная сварка металлов/ Кристаллы квантовой и нелинейной оптики. Блистанов А.А. Учебное пособие для вузов. -М.: «МИСИС», 2000. – 432 с.
2. Голубенко Ю.В., Иванов Ю.В. Твердотельные лазеры/ Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Основы физики лазеров» .- 1988 .- С. 2-22.
3. Григорьянц А.Г. Лазерная сварка металлов/ Лазерная техника и технология// Кн. 5 Лазерная сварка металлов: Учеб. пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов; Под ред. А.Г. Григорьянца. -М.: Высш. шк., 1988 - 207 с.
4. Григорьянц А.Г. Лазерная резка металлов/ Лазерная техника и технология// Кн. 7 Лазерная резка металлов: Учеб. пособие для вузов/ А.Г. Григорьянц, А.А. Соколов; Под ред. А.Г. Григорьянца. -М.: Высш. шк., 1988. – 127 с.