

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ КОНЦЕНТРИРОВАННЫМ ПОТОКОМ ЭНЕРГИИ

В. П. Перевертов, И. К. Андрончев, М. М. Абулкасимов

Интенсификация технологических процессов термообработки, наплавки, легирования, напыления и других методов поверхностной обработки материалов в значительной степени определяется расширением применения мощных концентрированных потоков энергии в виде электронного луча, лазерного излучения, плазменного и ионного воздействия.

Высокие плотности мощности лазерного излучения, существенно превосходящего другие энергии, позволяют не только значительно увеличить производительность обработки, но и получать качественно новые свойства поверхностей, недоступные традиционным методам обработки материалов. Лазерная обработка поверхностей металлов и сплавов относится к локальным методам термической обработки с помощью высококонцентрированных источников нагрева. Лазерный луч как источник нагрева при термической обработке материалов имеет параметры, свойственные всем другим высококонцентрированным источникам, а также свои особенности и преимущества.

1. Высокая концентрация подводимой энергии и локальность позволяют производить обработку только поверхностного участка материала без нагрева остального объема и нарушения его структуры и свойств, что приводит к минимальному короблению деталей, позволяет провести нагрев и охлаждение обрабатываемого объема материала с большими скоростями при очень малом времени воздействия.

2. Возможность контроля, диагностирования и регулирования параметров лазерной обработки в широком интервале режимов позволяет разработать обширный ряд методов поверхностной лазерной обработки, причем в каждом методе можно регулировать качество структуры поверхностного слоя, такие его свойства, как твердость, износостойкость, шероховатость, а также геометрические размеры обработанных участков и др.

Отсутствие механических усилий на обрабатываемый материал дает возможность обрабатывать хрупкие конструкции.

Возможность обработки на воздухе, автоматизация технологических процессов, отсутствие вредных отходов при обработке и т.д. определяют высокую технологичность лазерного луча.

Возможность транспортировки лазерного излучения на значительные расстояния и подвода его с помощью специальных оптических систем в труднодоступные места позволяет производить обработку в тех случаях, когда другие методы, в том числе и с помощью высококонцентрированных источников нагрева (низкотемпературная высокочастотная плазма (факельный разряд)) применить невозможно.

Методы лазерной термообработки аналогичны обычным методам термической обработки материалов и сплавов. Для осуществления лазерной закалки (рис. 1) локальный участок поверхности массивной детали нагревают с помощью излучения до сверхкритических температур, а после прекращения действия излучения этот участок охлаждается за счет отвода теплоты во внутренние слои металла. Высокая скорость охлаждения приводит к образованию закалочных структур в сплавах и к высокой твердости поверхности.

Основная цель лазерной закалки – повышение износостойкости деталей, работающих в условиях трения. Уменьшение износа деталей после лазерной закалки обусловлено рядом факторов: высокой твердостью поверхности, высокой дисперсностью структуры; увеличением несущих свойств поверхности; уменьшением коэффициента трения и др.

Увеличивается износостойкость чугунов в условиях трения со скольжением после обработки непрерывным лазером. Повышение износостойкости чугунов после лазерной обработки обусловлено, кроме вышеупомянутых факторов, улучшением условий трения из-за сохранившегося в зоне лазерного воздействия графита. Повышается также и износостойкость сталей и некоторых других сплавов при трении в щелочной и кислотной средах.



Рис. 1. Применение лазерных технологий

Напряженное состояние поверхностных слоев после лазерной закалки различное. После прекращения лазерного воздействия наиболее быстро охладится внутренний слой металла, лежащий возле непрогретого исходного слоя. Поверхностный слой охлаждается и сжимается в последнюю очередь. Это приводит к большой неравномерности в распределении остаточных напряжений. Величина же и интервалы изменения напряжений при обработке зависят от режимов обработки и, прежде всего, от мощности излучения.

Остаточные деформации увеличиваются при увеличении степени перекрытия пятен или полос упрочнения. Кроме того, размер деформации зависит от коэффициента перекрытия и координатной последовательности обработки. Оптимальные режимы с этой точки зрения – равномерное и симметричное заполнение поверхности пятнами или полосами упрочнения.

После лазерной закалки по оптимальным режимам при достаточных размерах обрабатываемых деталей и небольших размерах поводки минимальны, и этим процесс выгодно отличается от термообработки с помощью неконцентрированных источников тепла.

В том случае, когда толщина обрабатываемой детали соизмерима с размерами зоны лазерного воздействия и условия ускоренного теплоотвода не обеспечиваются, имеет место *лазерный отжиг*. Такая технология применяется в микроэлектронике для отжига полупроводниковых материалов, в особенности имплантированных на металлические подложки. Лазерный отжиг, заключающийся в нагреве лазером закаленных деталей до температур ниже критических, может быть использован для обработки мелких деталей в приборостроении, например, пружинных элементов и др.

Оплавление поверхности как технологический процесс начал развиваться с появлением лазерного излучения и другими методами практически не выполняется. При оплавлении для улучшения качества поверхности (уменьшения пористости или шероховатости) режимы обработки подбирают исходя из требований получения наилучшей микрогеометрии поверхности, а скорость охлаждения в этом случае не регламентируется. При аморфизации скорость охлаждения должна быть максимальной для получения аморфного состояния, поэтому глубина оплавления не превышает 50 мкм.

Методы получения поверхностных покрытий – легирование и наплавка – отличаются тем, что участок поверхности нагревается выше температуры плавления, в зону оплавления вводят легирующие компоненты, и в результате образуется поверхностный слой с химическим составом, отличным от основного металла. Вакуумно-лазерное напыление заключается в испарении материала участка поверхности под воздействием лазерного излучения в вакууме и конденсировании испарившихся продуктов на подложке.

Ударное воздействие лазерного излучения может использоваться для упрочнения поверхности и для иницирования физико-химических процессов, например, для формирования *p-n*-переходов в полупроводниковых материалах.

Иницирование поверхностных химических реакций на поверхности сплавов с помощью теплового воздействия лазерного излучения или с использованием низкотемпературной высокочастотной плазмы вблизи поверхности преследует цель окисления или восстановления отдельных компонентов сплава или получения специальных соединений.

Лазерная обработка материалов основана на возможности лазерного излучения создавать на малом участке поверхности высокие плотности теплового потока, необходимые для интенсивного нагрева или расплавления (испарения, сварка, резка) практически любого материала.

При воздействии на поверхность обрабатываемых металлов и сплавов лазерное излучение частично отражается от нее, а остальной поток излучения проникает на незначительную глубину. Эта энергия лазерного излучения практически полностью поглощается электронами в поверхностном слое. Вследствие этого резко повышается электронная температура, тогда как температура кристаллической решетки остается незначительной.

Интенсивность отражения лазерного излучения при воздействии на поверхность твердого тела определяется коэффициентом отражения, зависящим от материала и длины волны излучения. В табл. 1 представлены значения коэффициентов отражения, полученные И. Спелдингом, из которой следует, что наиболее высоким коэффициентом отражения характеризуется воздействие излучения технологически перспективных CO₂-лазеров.

Таблица 1

Характеристика лазера		Коэффициент отражения			
Активное вещество	Длина волны излучения, мкм	Au	Cr	Ag	Nf
Ag	0,488	0,415	0,437	0,952	0,597
Рубин	0,694	0,930	0,831	0,961	0,676
ИАГ-Nd	1,064	0,981	0,901	0,964	0,741
CO ₂	10,6	0,975	0,984	0,989	0,942

Высокий уровень отражения создает на первый взгляд бесперспективную ситуацию с возможностью использования CO₂-излучения для обработки металлов.

Однако решающим обстоятельством является увеличение поглощательной способности с ростом температуры обрабатываемой поверхности.

Решающим фактором, определяющим эффективность лазерного излучения металлами, является состояние поверхности. С ростом оксидной пленки на поверхности металла коэффициент поглощения CO₂-излучения возрастает в несколько раз. На практике же не всегда оправдана технологическая операция увеличения шероховатости поверхности с целью повышения эффективности лазерной обработки. При поверхностной обработке более целесообразно нанесение покрытий для увеличения эффективности поглощения лазерного излучения, в особенности при обработке шлифованных поверхностей деталей.

Лазерные технологии, обладая большой гибкостью, являются перспективными для автоматизированного изготовления заготовок резкой, пробивкой, сваркой из листов металла, композита, полимера, керамики малыми партиями в многономенклатурном производстве. Для ГПМ лазерной обработки фирмой Toshiba (Япония) используются двухосные осцилляторы поперечного типа на низком давлении газа CO₂ мощностью от 1 до 5 кВт (табл. 2).

Таблица 2

Луч	LAC-553P	LAC-554P	LAC-555P
Длина волны, мкм	10,6		
Режим	Единичный многоимпульсный		
Выходная мощность, кВт	1(1,2)	3 (1,5)	5,0
Диаметр луча, мм	~20	~40 (30)	~45
Отклонение луча, м град	~2	~3	~3
Стабильность, %/8ч	± 5		
Источник энергии	200/220В,	3 фазы	50/60 Гц
Потребляемая мощность, кВА	25	70 1525	100
Охлаждающая вода			
Входная температура, °С	15–25		
Расход, л/мин	40	80	150
Газ			
Газ		CO ₂ , H ₂ , He	(По заказу)
Расход гелия, л/мин	60	150	200

ГПМ для резки заготовок из листов металла, полимеров, керамики и других подобных материалов и пробивки отверстий в них разработан на базе лазера LAC-553P мощностью 1 кВт (рис. 2). Скорость резки – 1,2–8,7 м/мин, точность – $\pm 0,1$ мм, наибольшая площадь листа – 1,2×2,4 м, толщина – 6 мм, наибольшая масса листа – 300 кг.

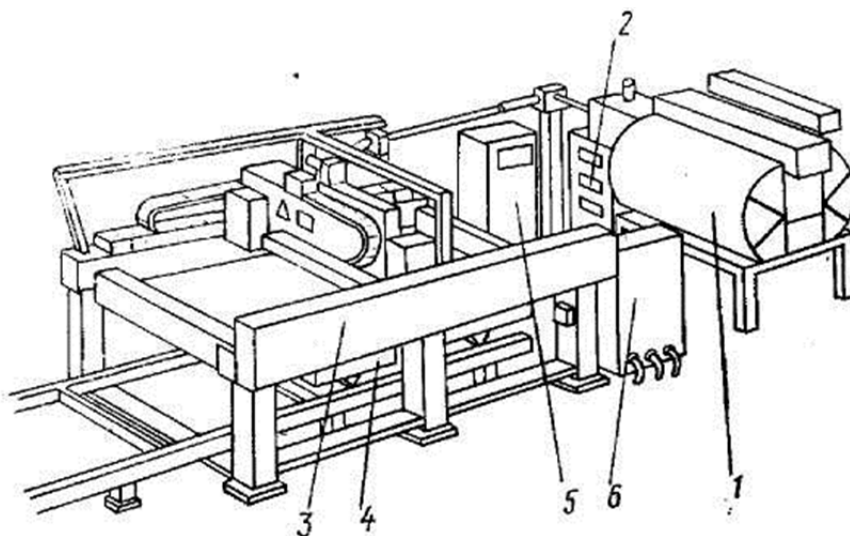


Рис. 2. ГПМ для лазерной резки листовых материалов

Энергия луча от осциллятора 1 передается по световолоконному каналу 2 к технологической насадке, позиция которой устанавливается трехкоординатным позиционером 3, оборудованным сервомоторами и шариковыми винтовыми передающими механизмами 4. Управление осуществляется с помощью микропроцессора 5.

Для гибких модулей на базе лазеров LAC-554 и LAC-555 мощностью 3 и 5 кВт разработана интегральная САПР конструкции изделия и технологических процессов, информация о которых передается на управляющий микропроцессор.

Гибкий модуль для резки и сварки на базе лазера LAC-555 обеспечивает автоматическую программную резку и сварку листовых заготовок площадью до 3×5 м и толщиной 9 мм с точностью размеров до $\pm 0,3$ мм. Наибольшая скорость резки – 8,7 м/мин, сварки – 1 м/мин.

Лазерные технологии применяются также для пробивки тонких отверстий различной сложной формы (при размерах отверстий меньше толщины листа) в комбинации с штамповыми методами и отдельно; для зачистки заусенцев пробитых в штампах отверстий и вырезанных по контуру деталей из листа; для контроля позиций перемещений и вырезки сложных контуров по программе из листовой стали, пластмасс, керамики.

В Японии разработаны лазерные гибкие модули для термообработки, зачистки заусенцев по контуру и развертыванию отверстий, для ломки сливной стружки, при обработке материалов резанием. Применяются в основном лазеры с осцилляторами на CO_2 мощностью до 5 кВт или Ar мощностью 200–300 Вт.

Проблема быстрого автоматизированного изготовления штампов для гибкого листоштамповочного производства остается острой из-за высокой стоимости и большой трудоемкости процесса. Заслуживают внимания предложения изготавливать штампы для листовой глубокой вытяжки, формовки и вырубке набором из пластин, вырезка которых по заданному контуру осуществляется лазерным лучом, а пробивка отверстий – набором пуансонов, установленных на револьверной головке пресса. Окончательная рабочая поверхность штампов достигается шлифованием. Для соединения собранных пакетов листовых заготовок используются винты, клей.

Время, ч, затраченное на изготовление слоистого штампа для глубокой вытяжки вырезкой контуров лазерным лучом и пробивкой стальных листовых заготовок толщиной 2 мм на револьверном вырубном прессе, составляет 24 ч.

Особенности изготовления подобных штампов с помощью лазерного луча приведены в табл. 3.

Таблица 3

Револьверный пресс с ЧПУ	Лазерный пресс с ЧПУ	Револьверный пресс с ЧПУ	Лазерный пресс с ЧПУ
Возможность вырубки зависит от твердости материала. Ограничение профилей	Возможность вырубки не зависит от твердости материала. Неограниченные профили	Неровная поверхность резки. Профили для пуансона и матрицы вырезаются отдельно	Гладкая поверхность резки. Профили для пуансона и матрицы вырезаются одновременно
Наличие заусенцев и искривлений. Низкая скорость вырубки	Очень малые заусенцы и искривления. Очень большая скорость вырезки	Точные отверстия, пробитые пуансоном. Отсутствие зоны термического воздействия. Шумный процесс	Неточные отверстия (из-за шероховатости). Имеется зона термического воздействия. Бесшумный процесс

Большими преимуществами лазерной резки являются неограниченная возможность получения любого профиля и возможность одновременно вырезать профили пуансона и матрицы практически без отходов, так как ширина вырезающего луча лазера составляет всего около 0,15 мм.

Слоистый пуансон для гидроформовки изготовлен с помощью лазерного вырезного прессы типа UL-85 (лазер на CO₂с осциллятором EVERLASE (M46) с непрерывной мощностью 375 Вт и максимальной скоростью резания 6 м/мин). Для изготовления профилей использован лист толщиной 1,2 мм из мартенситной стали фирмы Nippon Kokan с пределом прочности 145 кгс/мм². Профиль вырезали со скоростью 400 мм/мин, используя луч мощностью 110 Вт в импульсном режиме. Время вырезки 200 листовых заготовок для готового пуансона составило 10 ч. Верхняя часть пуансона, состоящая из 50 слоев, собрана склеиванием с помощью нейлонового клея FS-175P фирмы TOA GOSSEI (напряжение сдвига 32,0 МПа, усилие отдираания 350 Н на 25 мм ширины). Неровности, связанные со ступенчатой формой краев листовых заготовок, устранены шлифованием и полированием (обработка материалов резанием).

Способ изготовления слоистых штампов лазерной технологией сокращает время изготовления, уменьшает слоистость штампов, дает возможность одновременно получать каналы для охлаждения и, кроме того, создает возможность использования композиционных штампов из разных по прочности и свойствам материалов в соответствии с местными удельными усилиями.

Лазерная резка применяется для изготовления отверстий как в промежуточных кольцах сопла паровой турбины, выполненных из хромистой нержавеющей стали толщиной 6 мм, в которые вставляются лопатки, так и на поверхности трубных заготовок, применяемых при изготовлении трубопроводов двигателей внутреннего сгорания.

С помощью лазерных технологий изготавливают шаблоны и сепараторы из инструментальной стали. Экономически выгодным оказывается применение лазерной резки при производстве опытных образцов автомобилей, когда требуется изготовление деталей малых серий и большой номенклатуры для изготовления дисковых пил. Ножевые полотна, вырезанные лазером, реже выходят из строя, имеют более длительный срок службы и больший период времени между заточками по сравнению с полотнами, полученными механическим способом.

Широко используется лазерная резка в судостроении, в химической промышленности (изготовление ножей грануляторов), в производстве самолетов, космических летательных аппаратов (изготовление деталей из титановых сплавов, алюминия), скоростного подвижного состава.

С помощью воздействия низкотемпературной высокочастотной плазмы (факельным разрядом) на материалы возможно формировать отверстия в материале, производить резку и нагрев заготовки. Для повышения качества и производительности горячештамповочного производства в условиях ГПС разработан способ формирования отверстий в материале, основанный на внедрении пуансона в матрицу с предварительным формированием отверстия в материале низкотемпературной плазмой (факельным разрядом ФР).

Предварительный нагрев материала заготовок существенно и однозначно изменяет его характеристики прочности и пластичности и, следовательно, способность к пластической деформации.

ции и разрушению. Путем оптимального изменения температуры материала (как металлического, так и диэлектрического) можно не только предотвратить образование трещин, снизить усилие, но и улучшить качество, а также повысить производительность технологического процесса [1].

Предложенный способ реализуется с помощью устройства, приведенного на рис. 3.

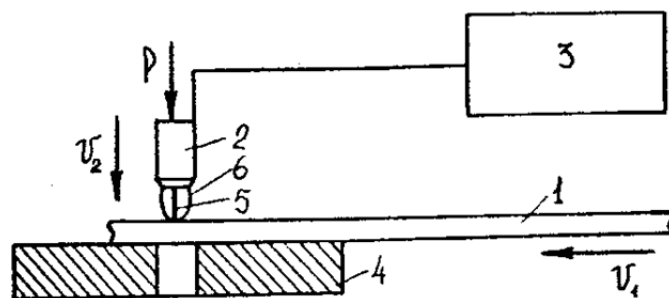


Рис. 3. Схема способа формирования отверстий в материале (резка материала)

Материал (металлический или неметаллический) в виде полосы *1* с намеченной координатной сеткой подводится к пуансону *2*. Оператор включает высокочастотный генератор *3*. Между пуансоном *2* и листовым материалом *1*, лежащем на матрице *4*, самопроизвольно возникает ФР, имеющий плазменный канал *5* и оболочку *6*. Затем пуансон *2* перемещается вертикально вниз относительно матрицы *4* и формирует отверстие.

Рассмотренный способ прост, не требует сложного и дорогостоящего оборудования, повышает производительность, позволяет получать отверстия в любых материалах.

Используя рассмотренный способ формирования отверстий в материале заготовки, можно производить резку проката на дозированные по массе (объему) заготовки. Это позволит: повысить качество резки заготовок при требуемой производительности, снизить энерго- и материалоемкость КШМ, создать заготовительные и обрезные гибкие модули или комплексы.

Для повышения качества нагрева заготовок перед штамповкой, экономии электроэнергии, повышения стойкости штампового инструмента предлагается нагрев заготовок производить низкотемпературной плазмой в диапазоне частот 6–3000 МГц и мощности 50–250 кВт, а сами заготовки вращать вокруг собственной оси.

Нижний предел частоты разряда 6 МГц выбран в связи с граничной частотой образования ФР. Выбор частоты разряда более 3000 МГц приводит к конструктивному усложнению устройства и требует дополнительных мер по повышению средств техники безопасности.

В современных КШМ цикл штамповки составляет 5–10 с, поэтому с точки зрения производительности процесса штамповки мощность ФР выбирать ниже 50 кВт не имеет смысла. Например, при мощности 50 кВт и частоте разряда от 6 до 2000 МГц время нагрева составляет 7–20 с. Превышение мощности разряда более 250 кВт при частоте от 6 до 3000 МГц может привести к «расстыковке» производительности прессы и нагревательного устройства, что приведет к пережогу заготовок, их браку.

Предложенный способ реализуется с помощью устройства, приведенного на рис. 4. Оператор включает высокочастотный генератор *б*, механизм подачи и перемещения заготовок (на чертеже не показан), обеспечивающий поступательное и вращательное движение заготовки *1*. Заготовка *1* перемещается слева направо. При прохождении заготовки *1* над рабочим инструментом *2* возникает ФР, имеющий плазменный канал *8* и оболочку *7*. Тепловая энергия ФР передается заготовке *1*. В дальнейшем ФР образуется на рабочих инструментах *3*, *4*, *5*. Зоны (пятна) ФР от каждого инструмента перекрываются. Количество рабочих инструментов выбирается в зависимости от производительности технологического процесса штамповки. После прохождения под всеми рабочими инструментами *2–5* заготовка *1* нагревается до требуемой температуры и поступает в штамп.

При изменении частоты и мощности генератора *б* можно регулировать ширину и длину, а следовательно, площадь (апертуру) пятна нагрева, что позволяет производить нагрев заготовок с различным диаметром. КПД установки, реализующий способ, составляет 30–40 %.

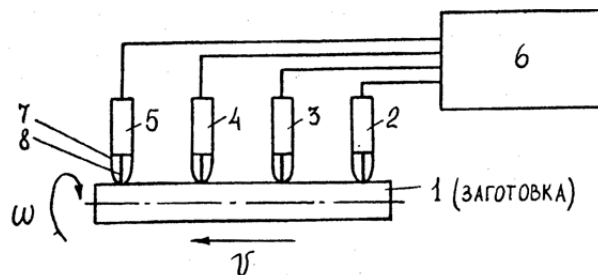


Рис. 4. Схема способа нагрева заготовок перед штамповкой низкотемпературной плазмой (факельным разрядом)

Использование предлагаемого способа нагрева заготовок перед штамповкой в качестве основы термического модуля позволит:

- снизить потребление электроэнергии за счет более высокого КПД и экономного расхода, так как образование ФР происходит только в момент прохождения заготовки около рабочих инструментов. В случае отсутствия заготовки ФР не образуется и потребление электроэнергии происходит только генератором;
- автоматизировать процесс нагрева;
- увеличить срок службы штампового инструмента за счет быстрого нагрева, не приводящего к образованию окалины;
- нагревать любые материалы с различными электрофизическими свойствами, геометрические размеры заготовок при этом не сказываются на КПД установки и на качестве нагрева.

На рис. 5–6 представлен скоростной способ нагрева заготовок, в котором нагрев поверхностных слоев заготовки может производиться как индукционным способом, так и низкотемпературной плазмой. Нагрев внутренних слоев осуществляется контактным способом. Время нагрева заготовок до заданной температуры значительно уменьшается. Контроль и управление низкотемпературной плазмой осуществляется с помощью нового устройства ИРТ-4, а контроль температуры нагрева заготовок перед штамповкой новыми устройствами ИРТ-1, ИРТ-2, ИРТ-3 [2–5].

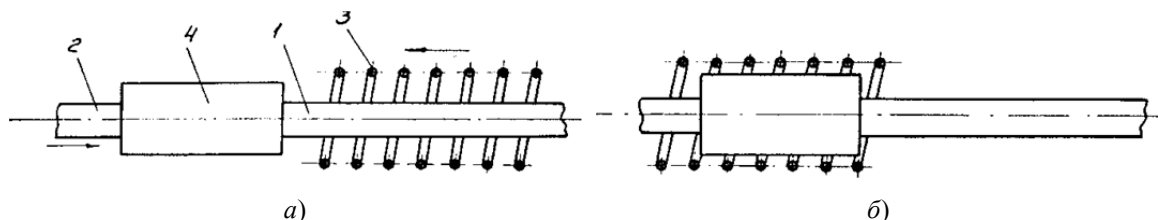


Рис. 5. Схема скоростного нагрева заготовок перед штамповкой:
 а – исходное положение элементов устройства; б – режим нагрева;
 1, 2 – механизмы крепления заготовки; 3 – подвижный индуктор; 4 – заготовка

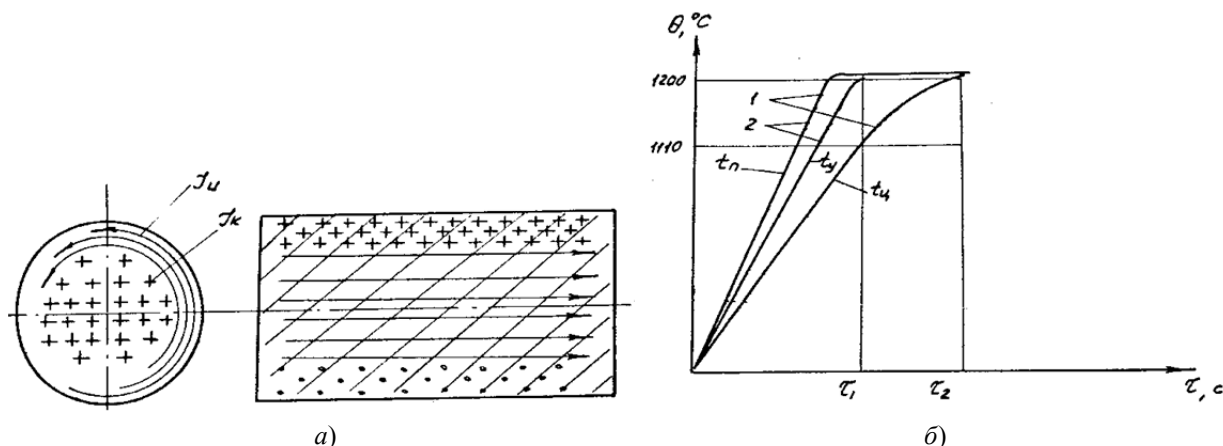


Рис. 6. Схема скоростного нагрева заготовок перед штамповкой:
 а – схема направления тока при прохождении центральных слоев и поверхности заготовки;
 б – время нагрева заготовок до заданной температуры

Устройство ИРТ-4 (рис. 7, 8) предназначено для контроля температуры при обработке материалов низкотемпературной высокочастотной плазмой [2].

Механизм развития ФР представляет собой высокоионизированное пространство с четко выраженным ограниченным каналом разряда и оболочкой. Образование ФР наблюдается в широком диапазоне частот от 6 до 2000 МГц. Высокоионизированное пространство имеет некоторую емкость относительно обрабатываемого материала. Ток, текущий с рабочего инструмента на эту емкость, производит ионизацию воздуха (окружающей технологической среды) и тем самым поддерживает ФР [3, 4].

Температура ФР составляет в зоне плазменного канала 3000–4000 °С. Изменение генерации от 12,4 до 100 МГц приводит к изменению температуры в 1000 °С.

С целью повышения температуры до 10 000 °С через рабочий инструмент пропускают активный газ, например кислород, который одновременно осуществляет охлаждение рабочего инструмента и световодов.

Для оптимизации технологического процесса обработки необходимо вести контроль и регулирование температуры факельного разряда при обработке материалов.

Рабочий инструмент является неотъемлемой частью устройства ИРТ-4 в связи с тем, что в нем размещен световод, служащий для передачи излучения от ФР до фотоприемника и исключающий (световод) влияние высокой температуры факельного разряда на параметры фотоприемника. Как показали испытания устройства по а.с. № 801931 на Куйбышевском заводе клапанов, автозаводе «ЗИЛ» размещение датчика температуры в корпус, выполненный в виде двух concentрично расположенных полых цилиндров и расположенного между ними охлаждающего агента, не обеспечивает временную температурную стабилизацию фотонного датчика в течение 24 ч непрерывной работы.

Устройство ИРТ-4 содержит дифференциальный датчик температуры (см. рис. 7), состоящий из дифференциального фотоприемника 1 и двух световодных каналов 2, 3, посредством которых входы дифференциального фотоприемника 1 соединены оптически с поверочной лампой 4 и нагревателем 5 (с их излучениями). Выход дифференциального фотоприемника 1 соединен с блоком управления 6 током поверочной лампы 4, выход которого соединен с поверочной лампой 4, цифровым индикатором 7 и входом блока сравнения 8, другой вход которого соединен с датчиком температуры 9, соединенным с источником стабилизированного напряжения 10. Выход блока сравнения 8 соединен через усилитель 11 с системой управления нагревателя, состоящего из блока 12 управления генератора разряда нагревателя, датчика 13 режимов работы генератора и генератора 14, выход которого соединен с нагревателем 5, внутри которого расположены с зазором сапфировый световод 15 и кварцевый световод 16. Корпус нагревателя выполнен в виде полого цилиндра 17, внутри которого с помощью ввинчивающихся круглых перегородок 18, 19 и завинчивающейся крышки 20 закреплены сапфировый световод 15 и кварцевый 16 световоды.

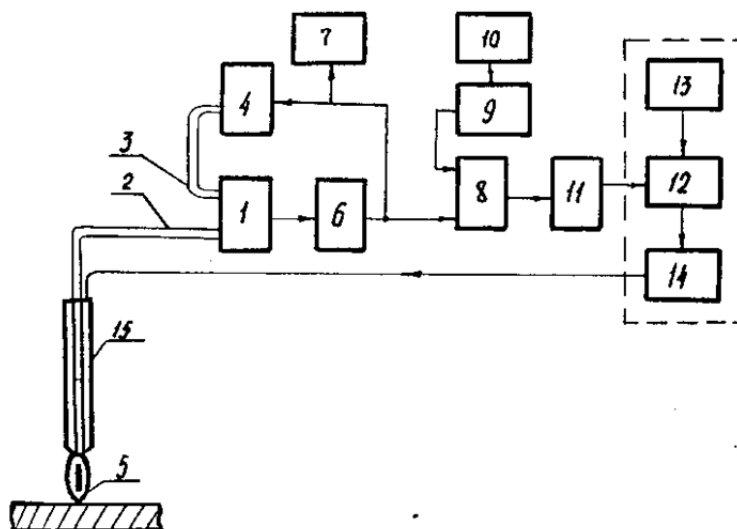


Рис. 7. Структурная схема устройства контроля температуры ИРТ-4

По оси крышки 20 расположен оптический разъем 21 для соединения светового кабеля 22 с нагревателем 8.

По металлической оболочке световодного кабеля 22 на нагреватель 5 подается напряжение от генератора 14 для создания разряда, взаимодействующего с обрабатываемым материалом 23. На крышке 20 и перегородках 18, 19 имеются отверстия для крепления и подачи кислорода в зону разряда. Кислород используется для охлаждения нагревателя 5 и световодов 15, 16.

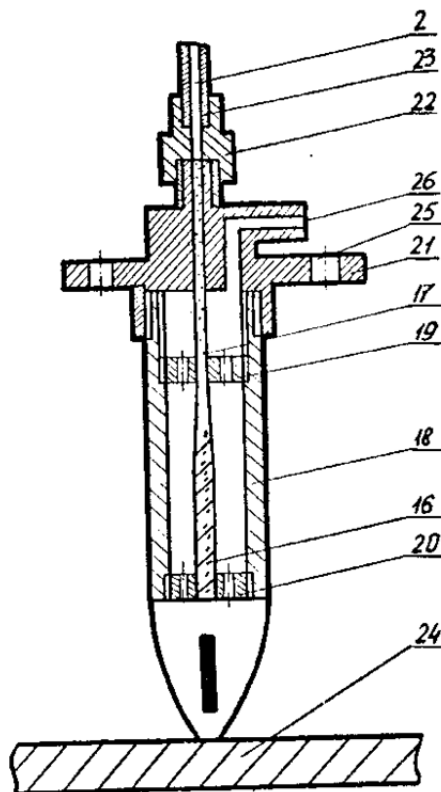


Рис. 8. Конструкция рабочего инструмента устройства контроля температуры ИРТ-4

Устройство работает следующим образом. С помощью датчика температуры 9 оператор устанавливает необходимую для данного материала и способа обработки температуру разряда. При этом интенсивность излучения разряда приблизительно соответствует требуемой температуре. Излучение разряда через сапфировый световод 16, кварцевый световод 16 подается на один из входов дифференциального фотоприемника 1, на другой вход которого подается излучение поверочной лампы 4 [5–7].

При отличии интенсивности излучения поверочной лампы 4 от интенсивности излучения разряда на выходе дифференциального фотоприемника 1 появляется электрический сигнал, пропорциональный разности интенсивностей излучения, управляющий через блок управления 6 током поверочной лампы 4, до тех пор пока интенсивности излучений поверочной лампы 4 и разряда не будут одинаковыми [8].

Цифровой индикатор 7 измеряет ток поверочной лампы 4. В блоке сравнения 8 сравниваются напряжения с датчика температуры 9 и напряжение пропорциональное току поверочной лампы 4. При наличии разницы этих напряжений на выходе блока сравнения 8 появляется управляющий сигнал, изменяющий режим работы генератора 14 и изменяющий тем самым температуру разряда до тех пор, пока она не будет соответствовать установленной в датчике температуры 9. Точность измерений повышается за счет измерения тока эталонной поверочной лампы 4, управляемого разностью излучений разряда и поверочной лампы 4. Применение дифференциального фотоприемника 1, работающего с близкими по амплитуде входными сигналами, позволяет уменьшить влияние измерения параметров фотоприемника 1 от дестабилизирующих факторов, например температуры, излучений электрических и магнитных полей, что также повышает точность и стабильность измерения и регулирования температуры.

Рассмотренные новые способы и устройства обработки материала заготовок (деталей) низкотемпературной высокочастотной плазмой (факельным разрядом) являются перспективным направлением по созданию на их основе гибких производственных модулей (ГПМ) и комплексов для автоматизированного производства в XXI веке [9, 10].

Список литературы

1. Перевертов, В. П. Технологии конструкционных материалов. Ч. 2. : Лазерные технологии / В. П. Перевертов. – Самара : СамГУПС, 2013. – 115 с.
2. Перевертов, В. П. Управление кузнечными машинами в ГПС / В. П. Перевертов, Ю. А. Бочаров, Е. М. Маркушин. – Куйбышев : Кн. изд-во, 1987. – 160 с.
3. Laser complexes. – URL: <http://www.lasercomp.ru>.
4. Перевертов, В. П. Новые способы и устройства обработки материала заготовок перед штамповкой низкотемпературной высокочастотной плазмой (факельным разрядом) // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2005. – Т. 1. – С. 298–300.
5. А. с. № 1402383 СССР, МКИ³ В 21 С 31/00. Способ нагрева заготовок перед штамповкой / В. П. Перевертов, Ю. А. Бочаров, Н. Е. Конюхов [и др.] // Открытия. Изобретения. – 1988. – № 22.
6. А. с. № 1303207 СССР, МКИ³ В 21 G 31/00. Устройство для контроля температуры при обработке материалов / В. П. Перевертов, Ю. А. Бочаров, Н. Е. Конюхов, А. П. Андреев [и др.] // Открытия. Изобретения. – 1987. – № 14.
7. А. с. № 801931 СССР, МКИ³ В 31/00 Устройство контроля температуры нагрева заготовок перед штамповкой / В. П. Перевертов, В. А. Поникаров, А. В. Сафонов [и др.] // Открытия. Изобретения. – 1981. – № 5.
8. А. с. № 1300439 СССР, МКИ³ G05 Д23/19. Устройство контроля температуры нагрева заготовок перед штамповкой / В. П. Перевертов, Ю. А. Бочаров, Н. Е. Конюхов [и др.] // Открытия. Изобретения. – 1987. – № 12.
9. А. с. № 1323152 СССР, МКИ³ В21 G31/00. Устройство контроля температуры нагрева заготовок перед штамповкой / В. П. Перевертов, Ю. А. Бочаров, Ю. Н. Фадеев // Открытия. Изобретения. – 1987. – № 26.
10. Перевертов, В. П. Инновационные технологии обработки материалов концентрированным потоком энергии в ГПС / В. П. Перевертов, И. К. Андрончев, М. М. Абулкасимов // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2015. – Т. 1. – С. 29 – 35.

Перевертов Валерий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры строительных и дорожных машин
и технологии машиностроения,
Самарского государственного университета
путей сообщения
(443066, Россия, г. Самара,
Первый Безымянный пер., 18)
E-mail: vperevertov@yandex.ru

Андрончев Иван Константинович

доктор технических наук, профессор, и.о. ректора,
Самарский государственный университет
(443011, Россия, г. Самара, ул. Академика Павлова, 1)

Абулкасимов Манас Мукуитович

старший преподаватель,
кафедра систем обработки информации и управления,
Московский государственный технический
университет им. Н. Э. Баумана
(105005, Россия, г. Москва,
2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1)

Аннотация. Показано, что интенсификация технологических процессов термообработки, наплавки, легирования, напыления и других методов поверхностной обработки материалов в значительной степени определяется за счет применения мощных кон-

Perevertov Valeriy Petrovich

candidate of technical sciences, associate professor,
professor of sub-department of construction
and road machines and machine building technology,
Samara State University of Railway Transport
(443066, 18 Pervyy Bezymyanny lane, Samara, Russia)

Andronchev Ivan Konstantinovich

doctor of technical sciences, professor, acting rector,
Samara State University
(443011, 1 Academician Pavlov street, Samara, Russia)

Abulkasimov Manas Mukitovich

senior lecturer,
sub-department of information processing
and control systems,
Moscow State Technical University
named after N. A. Bauman
(105005, page 1, 5 2-ya Baumanskaya street,
Moscow, Russia)

Abstract. It is shown that the intensification of technological processes of heat treatment, welding, alloying, spraying and other methods of surface treatment of materials is largely determined by applying a powerful concentrated energy flows in the form of the electron

центрированных потоков энергии в виде электронного луча, лазерного излучения, плазменного и/или ионного воздействия. При этом высокие плотности мощности лазерного излучения, существенно превосходящего другие энергии, позволяют не только значительно увеличить производительность обработки, но и получать качественно новые свойства поверхностей, недоступные традиционным методам обработки материалов. Рассмотрены новые способы и устройства обработки материала заготовок (деталей) низкотемпературной высокочастотной плазмой (факельным разрядом), что обеспечивает перспективу развития технологии создания гибких производственных модулей и комплексов для автоматизированного производства XXI века.

Ключевые слова: технология обработки материалов, термообработка, наплавка, легирование, напыление, электронный луч, лазерное излучение, контроль, диагностика, регулирование параметров.

beam, laser, plasma and/or ion impact. High power density of the laser radiation, significantly superior to other energy, allow not only significantly increase processing performance, but also to obtain qualitatively new properties inaccessible surfaces, traditional methods of handling materials. New methods and devices the billet material processing (details) low-temperature high-frequency plasma (flare discharge), that provides the prospect of flexible production technology development of modules and systems for automated production of the XXI century.

Key words: technology of processing materials, heat treatment, cladding, alloying, sputtering, electron beam, laser radiation, monitoring, diagnosis, regulation parameter.

УДК 621.974.8

Перевертов, В. П.

Технологии обработки материалов концентрированным потоком энергии / В. П. Перевертов, И. К. Андрончев, М. М. Абулкасимов // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 3 (11). – С. 69–79.