

Лабораторная работа №1. Источники энергии при сварке. Лазерная сварка.

Цель лабораторного практикума.

Изучение основных источников энергии при сварке. Изучение процесса сварки на примере технологической лазерной установки «Квант-15».

Теоретическая часть.

Из лекций по Теории Сварочных процессов Вы знаете об источниках энергии при сварке. В основном, это сварочная дуга.

Однако, кроме сварочной дуги в современной промышленности используют и другие недуговые источники энергии. Это: электронно-лучевые источники энергии, фотонно-лучевые, газовое пламя, термитная сварка.

Среди известных источников энергии, используемых для сварки, лазерное излучение обеспечивает наиболее высокую концентрацию энергии.

Лазер - это источник света со свойствами, резко отличающимися от всех других источников (ламп накаливания, люминесцентных ламп, пламени, естественных светил и так далее). Лазерный луч обладает рядом замечательных свойств. Он распространяется на большие расстояния и имеет строго прямолинейное направление. Луч движется очень узким пучком с малой степенью расходимости (он достигает луны с фокусировкой в сотни метров). Лазерный луч обладает большой теплотой и может пробивать отверстие в любом материале. Световая интенсивность луча больше, чем интенсивность самых сильных источников света.

Название лазер - это аббревиатура английской фразы: *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER)* усиление света с помощью вынужденного излучения.

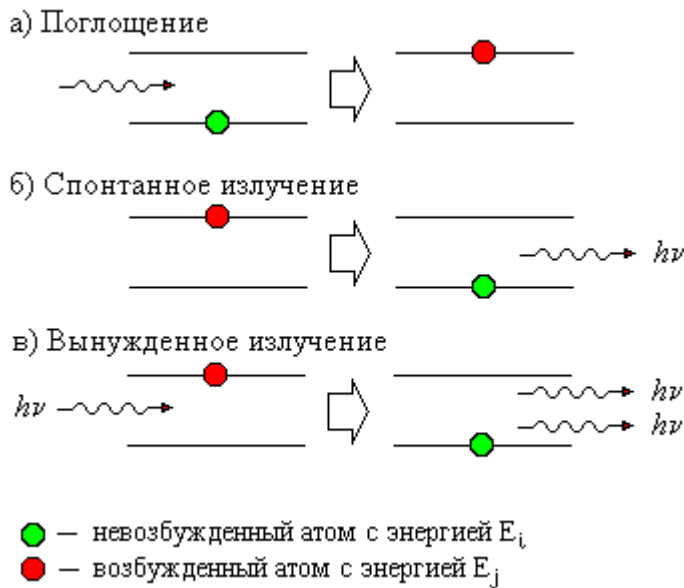
Все лазерные системы можно разделить на группы в зависимости от типа используемой активной среды. Важнейшими типами лазеров являются:

- твердотельные
- полупроводниковые
- жидкостные
- газовые

Активная среда представляет собой совокупность атомов, молекул, ионов или кристалл (полупроводниковый лазер), которая под действием света может приобретать усиливающие свойства.

Итак, каждый атом обладает дискретным набором энергетических уровней. Электроны атома, находящегося в основном состоянии (состояние с минимальной энергией), при поглощении квантов света переходят на более высокий энергетический уровень - атом возбуждается; при излучении кванта света все происходит наоборот. Причем излучение света, т.е переход на более низкий энергетический уровень (рис. 1б) может происходить самопроизвольно (спонтанно) или под действием внешнего излучения (вынужденно) (рис.1в). Причем, если кванты спонтанного излучения испускаются в случайных направлениях, то квант вынужденного излучения испускается в том же направлении, что и квант вызвавший это излучение, то есть оба кванта полностью тождественны.

Рис.1. Виды излучения

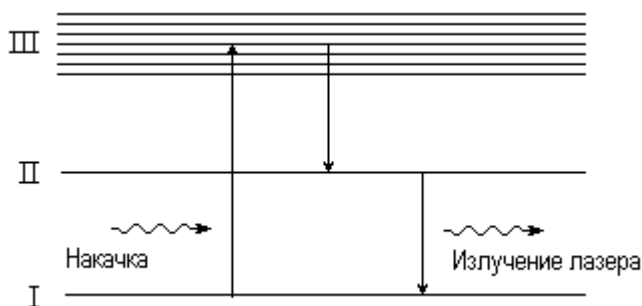


Для того чтобы преобладали переходы, при которых происходит излучение энергии (переходы с верхнего энергетического уровня на нижний), необходимо создать повышенную концентрацию возбужденных атомов или молекул (создать инверсную населенность). Это приведет к усилению падающего на вещество света. Состояние вещества, в котором создана инверсная населенность энергетических уровней, называется активным, а среда, состоящая из такого вещества - активной средой.

Процесс создания инверсной населенности уровней называется накачкой. И еще одна классификация лазеров производится по способу накачки (оптический, тепловой, химический, электрический и т.д.). Методы накачки зависят от типа лазера (твердотельного, жидкостного, газового, полупроводникового и т.п.).

Основная задача процесса накачки может быть рассмотрена на примере трехуровневого лазера (рис. 2).

Рис.2. Трехуровневая схема



Нижний лазерный уровень I с энергией E_1 , является основным уровнем энергии системы, на котором первоначально находятся все активные атомы. Накачка возбуждает атомы и соответственно переводит с основного уровня I, на уровень III, с энергией E_3 . Атомы, оказавшиеся на уровне III, излучают кванты света и переходят на уровень I, либо быстро переходят на верхний лазерный уровень II. Чтобы происходило накопление возбужденных атомов на верхнем лазерном уровне II, с энергией E_2 , нужно иметь быструю релаксацию атомов с уровня III на II, которая должна превышать скорость распада верхнего лазерного уровня II. Созданная таким образом инверсная населенность обеспечит условия для усиления излучения.

Однако что бы возникла генерация, необходимо еще обеспечить обратную связь, то есть что бы вынужденное излучение, раз возникнув, вызывало новые акты вынужденного излучения. Для создания такого процесса активную среду помещают в оптический резонатор.

Оптический резонатор представляет собой систему двух зеркал, между которыми располагается активная среда (рис. 3). Он обеспечивает многократное происхождение световых волн, распространяющихся вдоль его оси по усиливающей среде, вследствие чего достигается высокая мощность излучения.

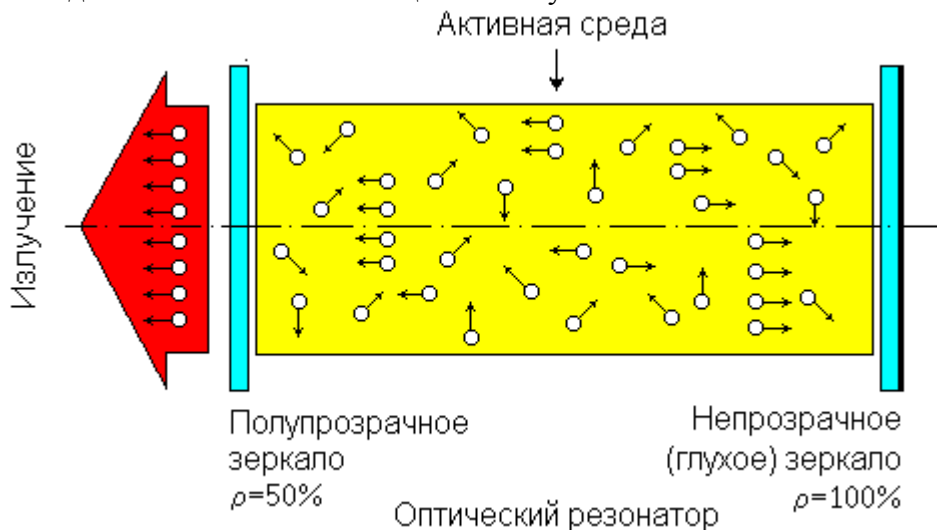


Рис.3 Схема лазера

При достижении определенной мощности излучения выходит через полупрозрачное зеркало. Из-за участия в развитии генерации только той части квантов, которые параллельны оси резонатора, К.П.Д. лазеров обычно не превышает 1%. В некоторых случаях, жертвуя теми или иными характеристиками, К.П.Д. можно довести до 30%.

Существует несколько разновидностей лазеров, которые отличаются друг от друга методом обработки материала.

Твердотельные лазеры

Существует большое количество твердотельных лазеров, как импульсных, так и непрерывных. Наибольшее распространение среди **импульсных** получили лазер на рубине и неодимовом стекле (стекле с примесью Nd). Неодимовый лазер работает на длине волны $L = 1,06$ мкм. Оказалось возможным изготовлять сравнительно большие и достаточно оптически однородные стержни длиной до 100 см и диаметром 4—5 см. Один такой стержень способен дать импульс генерации с энергией 1000 Дж за время $\sim 10^{-3}$ сек. Лазер на рубине, наряду с лазером на неодимовом стекле, являются наиболее мощными импульсными лазерами. Полная энергия импульса генерации достигает сотен Дж при длительности импульса 10^{-3} сек. Оказалось также возможным реализовать режим генерации импульсов с большой частотой повторения (до нескольких кГц). Примером твердотельных лазеров **непрерывного** действия являются лазеры на флюорите кальция CaF_2 с примесью диспрозия и лазеры на иттриево-алюминиевом гранате $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ с примесями различных редкоземельных атомов. Большинство таких лазеров работает в области длин волн L от 1 до 3 мкм. Типичное значение мощности генерации твердотельных лазеров в непрерывном режиме ~ 1 Вт или долей Вт, для лазеров на иттриево-алюминиевом гранате \sim десятков Вт. Если не принимать специальных мер, то спектр генерации твердотельных лазеров сравнительно широк, т.к. обычно реализуется многомодовой режим генерации. Однако введением в оптический резонатор

селектирующих элементов удаётся получать и одномодовую генерацию. Как правило, это связано со значительным уменьшением генерируемой мощности.

Трудности выращивания больших монокристаллов или варки больших образцов однородного и прозрачного стекла привели к созданию **жидкостных лазеров**, в которых примеси атомов редкоземельных элементов вводятся не в кристаллы, а в жидкость. Однако жидкостные лазеры имеют недостатки и поэтому применяются не столь широко, как твердотельные лазеры

Жидкостный лазер

Лазер с жидким активным веществом. Преимущество жидкостных лазеров — возможность циркуляции жидкости с целью её охлаждения. Это позволяет получить большие энергии и мощности излучения в импульсном и непрерывном режимах. В первых жидкостных лазерах использовались растворы редкоземельных хелатов. Они пока не нашли применения вследствие малости достижимой энергии и недостаточной химической стойкости хелатов. Жидкостные лазеры, работающие на неорганических активных жидкостях обладают большими импульсными энергиями при значительной средней мощности. При этом жидкостные лазеры генерируют излучение с узким спектром частот.

Интересными особенностями обладают жидкостные лазеры, работающие на растворах органических красителей. Широкие спектральные линии люминесценции органических красителей позволяют осуществить жидкостные лазеры с непрерывной перестройкой длин волн излучения в диапазоне порядка несколько сотен. Заменяя красители, можно обеспечить перекрытие всего видимого и части инфракрасного участков спектра. В жидкостных лазерах на красителях в качестве источника накачки обычно используются твердотельные лазеры. Для некоторых красителей можно использовать накачку от специальных импульсных газосветных ламп, дающих более короткие интенсивные вспышки белого света, чем обычные импульсные лампы (менее 50 мксек).

Газовые лазеры (лазер CO₂)

Основным достоинством газов как активной среды лазера является высокая оптическая однородность. Поэтому для тех научных и технических применений, для которых прежде всего необходимы максимально высокая направленность и монохроматичность излучения, газовые лазеры представляют наибольший интерес. Вслед за первым газовым лазером на смеси гелия и неона (1960) было создано большое количество разнообразных газовых лазеров, в которых используются квантовые переходы нейтральных атомов, молекул и ионов, имеющих частоты в диапазоне от ультрафиолетовой до далёкой инфракрасной частей спектра. Среди лазеров непрерывного действия видимой и ближней инфракрасной областей спектра наибольшее распространение получил гелий-неоновый лазер. Этот лазер представляет собой заключённую в оптический резонатор газоразрядную трубку, заполненную смесью He и Ne. В излучении гелий-неонового лазера наиболее отчётливо проявляются характерные свойства лазерного излучения — высокая направленность и монохроматичность. Существенным достоинством является их способность работать в непрерывном режиме. Применение новых методов возбуждения и переход к более высоким давлениям газа могут резко увеличить мощность гелий-неонового лазера. С помощью гелий-неонового лазера возможно дальнейшее освоение далёкого инфракрасного диапазона, диапазонов ультрафиолетового и рентгеновского излучений. Открываются новые области применения гелий-неонового лазера, например в космических исследованиях.

Полупроводниковые лазеры

Среди лазеров видимого и инфракрасного диапазонов полупроводниковые лазеры занимают особое положение по ряду своих характеристик. Полупроводниковые инжекционные лазеры характеризуются очень высоким КПД преобразования электрической энергии в когерентное излучение (близким к 100%) и могут работать в непрерывном режиме. Другими практически важными особенностями полупроводниковых лазеров являются: высокая эффективность преобразования электрической энергии в энергию когерентного излучения (до 30—50%); малая инерционность, обуславливающая широкую полосу частот прямой модуляции (более 109 ГГц); простота конструкции; возможность перестройки длины волны λ излучения и наличие большого числа полупроводников, непрерывно перекрывающих интервал длин волн от 0,32 до 32 мкм.

Общим недостатком всех полупроводниковых лазеров является сравнительно невысокая направленность излучения, связанная с их малыми размерами, и трудность получения высокой монохроматичности. Последнее связано с большой шириной спектра спонтанного излучения на рабочих рекомбинационных переходах. Полупроводниковые лазеры используются с наибольшей эффективностью в тех случаях, когда требования к когерентности и направленности не очень велики, но необходимы малые габариты и высокий КПД.

Полупроводниковые лазеры превосходят лазеры всех остальных типов плотностью энергии излучения и величиной КПД. Важным качеством полупроводниковых лазеров является возможность перестройки частоты излучения и управления световым пучком, т.е. модуляция интенсивности света с постоянной времени ~ 10 -11 сек.

Лазерная сварка, в отличие от электронно-лучевой, также обеспечивающей высокую концентрацию энергии, не требует вакуумных камер. Ее ведут либо на воздухе, либо в аргоне, гелии, либо в CO_2 и др. Лазерной сваркой можно соединять элементы любых размеров. Лазерное излучение легко передается с помощью оптических систем в труднодоступные места, может одновременно или последовательно использоваться на нескольких рабочих местах. Оптические системы транспортировки и фокусировки лазерного излучения создают возможность легкого и оперативного управления процессом лазерной сварки.

В отличие от электронного луча, дуги и плазмы, на лазерный луч не влияют магнитные поля свариваемых деталей и технологической оснастки, что позволяет получать устойчивое качественное формирование сварного шва по всему контуру.

Лазерная сварка обеспечивает существенное увеличение производительности, по сравнению с дуговой сваркой. По сравнению с электро-лучевой сваркой, лазерная сварка не требует вакуумных камер. Что позволяет нам рекомендовать лазерную сварку для соединения элементов конструкций практически любых габаритов.

Одной из отличительной особенностью лазерной сварки является возможность соединения трудносвариваемых материалов, в том числе разнородных.

Лазерную сварку следует рекомендовать к применению, когда необходимо получить следующие требования к изделию:

- получение прецизионной конструкции, размеры которой практически не должны меняться;
- малой зоны термического влияния;
- минимальных остаточных напряжённых состояний;
- высокой коррозионной стойкости, а также других требований, при которой другие технологии изготовления сварной конструкции не могут выполнить данные условия.

Лазерное излучение на поверхность материала частично отражается, а частично поглощается.

Эффективный КПД процесса сварки по физической сущности является эффективным коэффициентом поглощения лазерного излучения где q - эффективная тепловая мощность процесса лазерной сварки, т. е. мощность, поглощаемая металлом при лазерной сварке, P - мощность лазерного излучения. Значения КПД зависят от параметров режима и условий лазерной сварки, особенно ее скорости. Это связано с влиянием размеров и формы образующегося парогазового канала на поглощение лазерного излучения. Разные состояния поверхностей образцов перед сваркой незначительно влияют на КПД, потому что при сварке кромки нагреваются до $T_{пл}$, а коэффициент поглощения лазерного излучения значительно растет с ростом температуры.

Высокопроизводительные режимы лазерной сварки с большими скоростями ($V_{св}=25-30$ мм/с), значительно превосходящими скорость дуговой сварки, обеспечивают максимальную энергетическую эффективность процесса и рекомендуются к применению.

Оптимальные значения КПД равны 0,6-0,7 при лазерной сварке и не уступают соответствующим показателям при дуговой сварке, следовательно, энергетическая эффективность лазерной сварки не ниже, чем дуговой. Особенность лазерной сварки - высокий уровень эффективности расплавления на больших (в диапазоне 20-40 мм/с) скоростях сварки, обеспечивающих высокую производительность. Достижимые при этом скорости значительно превосходят значения, полученные при дуговой сварке.

Качество и надежность сварных соединений, выполняемых лазерным лучом, в значительной степени определяются точностью сборки элементов под сварку. Необходимая точность сборки достигается подготовкой свариваемых кромок на металлорежущих станках (строганием, фрезерованием, точением).

Поверхность металла в зоне сварки следует очищать от окалины, ржавчины, других загрязнений, а также от влаги. Указанные загрязнения и влага создают условия для образования пористости, оксидных включений, а в некоторых случаях и холодных трещин в металле шва и зоне термического влияния за счет насыщения водородом.

При сборке под сварку не рекомендуются прихватки. В случае необходимости прихватки следует выполнять лучом лазера.

Защищать поверхности шва от окисления следует гелием или смесью гелия с аргоном в соотношении 2:1, а также аргона с углекислым газом при соотношении 3:1, подаваемыми через специальное сопло. Корень шва с обратной стороны рекомендуется защищать аргоном. В некоторых случаях при сварке низкоуглеродистых сталей допускается отсутствие защиты шва.

Лазерная технологическая установка «Квант-15».

Мощность (Вт)	
Энергия в имп. (Дж)	6.3
Длительность (с)	$(0.6-4) \cdot 10^{-6}$
Диаметр пятна (см)	0.05-0.13

Общий порядок выполнения работы

1. Изучить теоретическую часть.
2. Изучить инструкцию по эксплуатации установки «Квант-15».
3. Изучить инструкцию по технике безопасности работы на установке. Расписаться в Журнале проведения инструкций по ТБ.
4. Включить установку «Квант-15».
5. Провести сварку двух тонких пластин из нержавеющей стали. Изучить процесс образования качественного соединения в зависимости от наличия или отсутствия зазора между свариваемыми деталями,
6. Применить присадочную проволоку. Сделать вывод о ее предназначении для выполнения качественного соединения.
7. Расфокусировать луч и попытаться повторить сварку. Уменьшить уровень накачки. Сделать вывод о том, какими параметрами должен характеризоваться режим сварки на установке «Квант-15».
8. Сварить цепь из отдельных элементов. Каждая группа учащихся или отдельно каждый студент заваривает одно звено цепи. Путем приложения нагрузки к готовой цепи определяется «самое слабое звено».

Общие контрольные вопросы

1. Виды источников энергии при сварке.
2. Основное преимущество лазеров перед другими источниками для сварки.
3. При сварке плавлением сближение атомов соединяемых тел осуществляется вследствие:
 1. их адгезии;
 2. Смачивания поверхности твердых тел жидким расплавом;
 3. Пластической деформацией соединяемых поверхностей.
4. Дайте термодинамическое определение понятия «процесс сварки».
5. Дайте определение «эффективный КПД сварочного процесса».

Инструкция по эксплуатации лазерной технологической установки «Квант-15».

Включение:

1. Нажать кнопку «Вкл» на столе управления.
2. Нажать несколько раз кнопку «Дежурная дуга» на шкафе управления до тех пор, пока не загорится лампочка.
3. Подождать некоторое время.
4. Нажать кнопку «Силовая Вкл».
5. Установить приблизительно 700 на регуляторе мощности.

Выключение:

1. Регулятор мощности перевести на 0.
2. Нажать кнопку «Силовая Выкл».
3. Нажать кнопку «Выкл» на столе управления.