

УДК 621.7/9.048.7:621.373.826

## ЛАЗЕРНАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

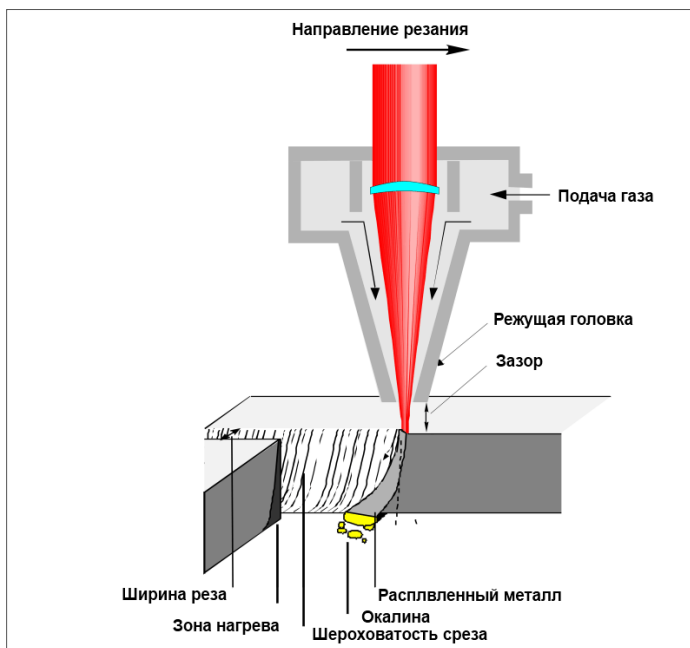
Суховерский Д.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

### Технология лазерной резки металла

**Лазерная резка** производится путем локального разогрева металла, сфокусированным на его поверхность лазерным излучением. В области воздействия лазерного луча металл нагревается до первой температуры разрушения – плавления. С дальнейшим поглощением излучения происходит расплавление металла, и фазовая граница плавления перемещается вглубь материала. В то же время энергетическое воздействие лазерного луча приводит к дальнейшему увеличению температуры, достигающей второй температуры разрушения – кипения, при которой металл начинает активно испаряться.

Таким образом, возможны два механизма лазерной резки – плавлением и испарением. Однако последний механизм требует высоких энергозатрат и осуществим лишь для достаточно тонкого металла. Поэтому на практике резку выполняют плавлением. При этом в целях существенного сокращения затрат энергии, повышения толщины обрабатываемого металла и скорости разрезания применяется



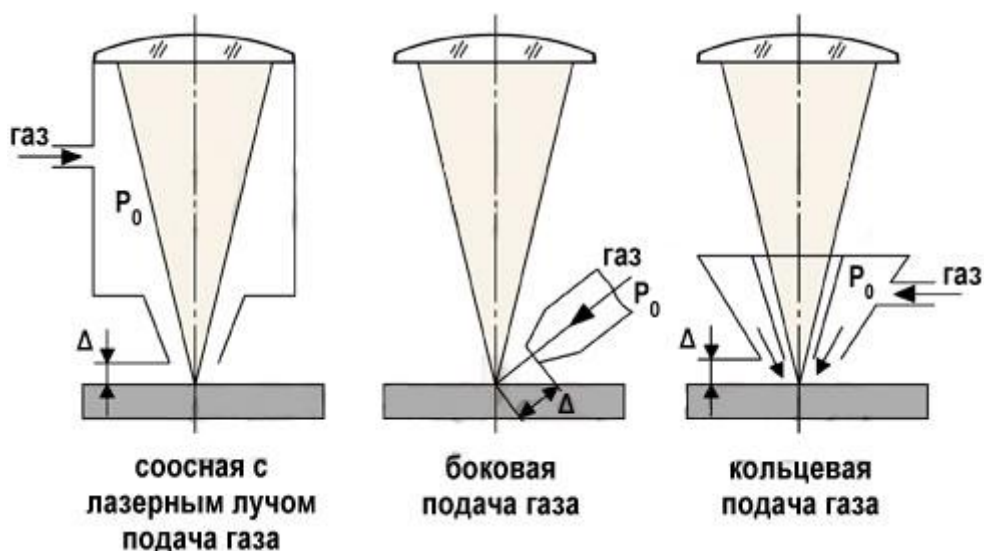
вспомогательный газ, вдуваемый в зону реза для удаления продуктов разрушения металла. Обычно в качестве вспомогательного газа используется кислород, воздух, инертный газ или азот. Такая резка называется **газолазерной**.

Например, кислород при газолазерной резке выполняет тройную функцию:

- вначале содействует предварительному окислению металла и снижает его способность отражать лазерное излучение;
- затем металл воспламеняется и горит в струе кислорода, в результате выделяется дополнительная теплота, усиливающая действие лазерного излучения;
- кислородная струя сдувает и уносит из области резки расплавленный металл и продукты его сгорания, обеспечивая одновременный приток газа непосредственно к фронту реакции горения.

В зависимости от свойств разрезаемого металла применяются два механизма газолазерной резки. При первом значительный вклад в общий тепловой баланс вносит теплота реакции горения металла. Такой механизм резки обычно используется для материалов, подверженных воспламенению и горению ниже точки плавления и образующих жидкотекучие оксиды. Примерами могут служить низкоуглеродистая сталь и титан.

При втором механизме резки материал не горит, а плавится, и струя газа удаляет жидкий металл из области реза. Данный механизм применяется для металлов и сплавов с низким тепловым эффектом реакции горения, а также для тех, у которых при взаимодействии с кислородом образуются тугоплавкие оксиды. Например, легированные и высокоуглеродистые стали, алюминий, медь и др.



Схемы подачи вспомогательного газа в зону резки

### Виды лазеров для резки

Существует достаточно много разновидностей лазеров и практически все они могут развивать мощность достаточную для работы с металлами. Чаще всего, резка металла лазером осуществляется с помощью **твердотельных, газовых** либо **газодинамических лазеров**.

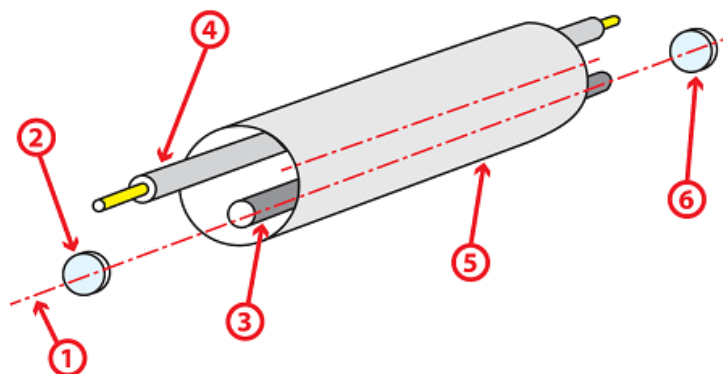
Это связано с тем, что эти разновидности лазеров в настоящий момент являются наиболее оптимальными по мощности и стоимости оборудования.

Лазер, как правило, состоит из трех основных узлов:

- источника энергии (механизма или системы накачки);
- активного (рабочего) тела, которое подвергается «накачке», что приводит к его вынужденному излучению;
- оптического резонатора (системы зеркал), обеспечивающего усиление вынужденного излучения активного тела.

### Твердотельные

В осветительной камере твердотельного лазера размещаются лампа накачки и активное тело, представляющее собой стержень из рубина, неодимового стекла (Nd-Glass) или алюмоиттриевого граната, легированного иттербием (Yb-YAG) либо неодимом (Nd-YAG). Лампа накачки создает мощные световые вспышки для возбуждения атомов активного тела. По



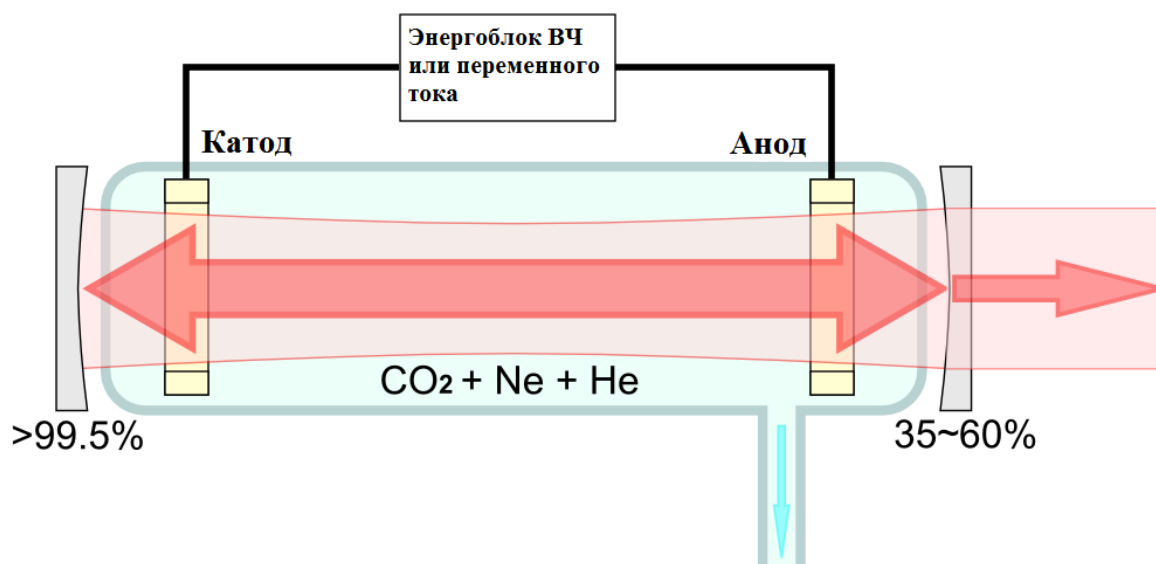
### Схема твердотельного лазера:

- |                                  |                           |
|----------------------------------|---------------------------|
| 1 – луч лазера,                  | 4 – лампа накачки,        |
| 2 – частично прозрачное зеркало, | 5 – осветительная камера, |
| 3 – активное тело,               | 6 – отражающее зеркало    |

торцам стержня расположены зеркала – частично прозрачное (полупрозрачное) и отражающее. Лазерный луч усиливается в результате многократных отражений внутри активного тела и выходит через частично прозрачное зеркало.

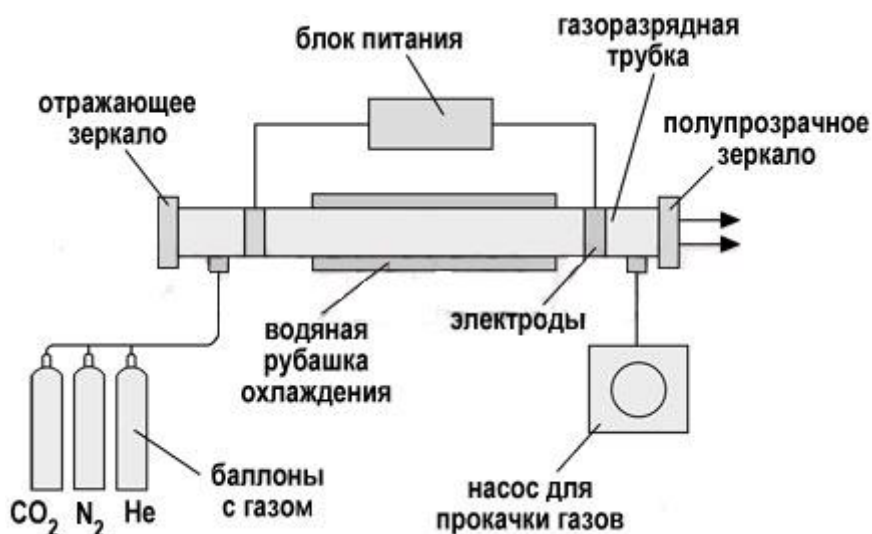
Серийные твердотельные лазеры имеют сравнительно небольшую мощность, как правило, не превышающую 1–6 кВт. Длина волны – около 1 мкм (рубинового лазера – около 694 нм). Режим излучения может быть как непрерывным, так и импульсным.

### Газовые



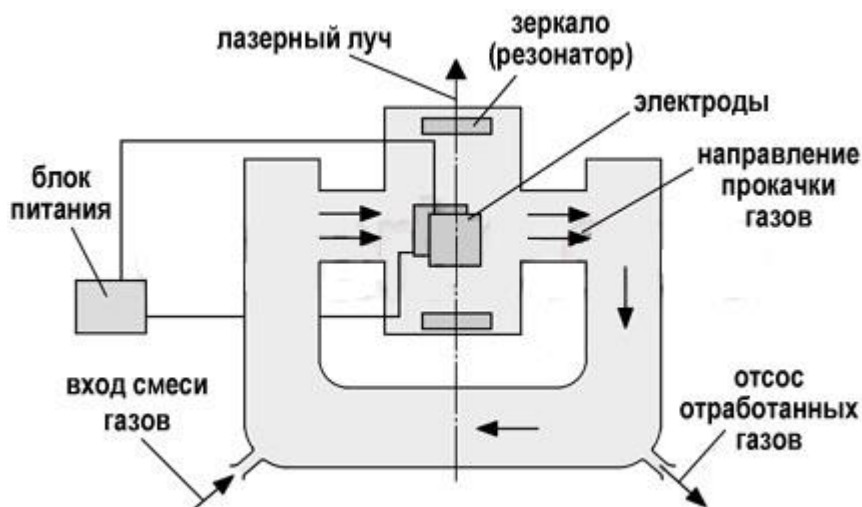
Устройство газового лазера

В газовых лазерах в качестве активного тела применяется смесь газов, обычно углекислого газа, азота и гелия. В лазерах с продольной прокачкой газа смесь газов, поступающих из баллонов, прокачивается с помощью насоса через газоразрядную трубку. Электрический разряд между электродами, подключенными к источнику питания, используется для энергетического возбуждения газа. По торцам трубки размещены отражающее и полупрозрачное зеркала.



Газовый лазер с продольной прокачкой газа

Более компактными и мощными являются лазеры с поперечной прокачкой газа. Их общая мощность может достигать 20 кВт и выше.



Газовый лазер с поперечной прокачкой газа

Весьма эффективны щелевые  $\text{CO}_2$ -лазеры. Они имеют еще меньшие габариты, а мощность их излучения обычно составляет 600–8000 Вт. Режим излучения – от непрерывного до частотно-импульсного.

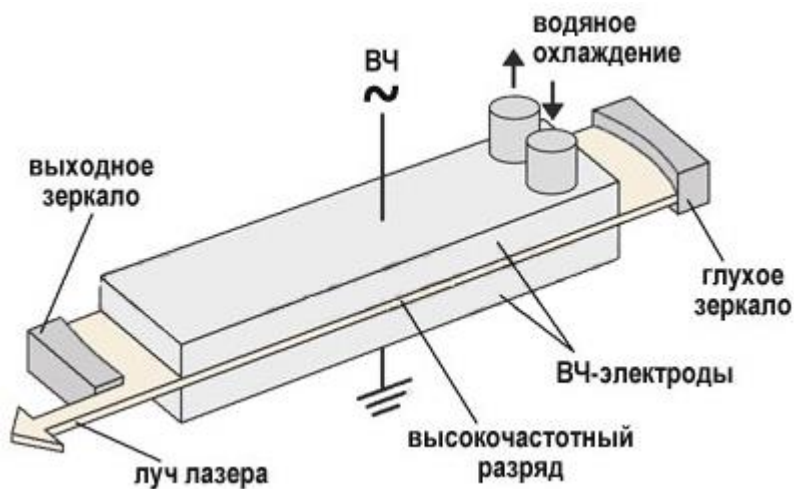


Схема щелевого лазера

В щелевом лазере применяется поперечная высокочастотная накачка активной среды (с частотой от десятков МГц до нескольких ГГц). Благодаря такой накачке увеличивается устойчивость и однородность горения разряда. Щель между электродами составляет 1–5 мм, что способствует эффективному отводу тепла от активной среды.

### Газодинамические

Наиболее мощные лазеры – газодинамические (100–150 кВт и выше). Газ, нагретый до температуры 1000–3000 К, протекает со сверхзвуковой скоростью через сопло Лавалья (суженный посередине канал), в результате чего он адиабатически расширяется и охлаждается в зоне оптического резонатора. При охлаждении возбужденных молекул углекислого газа происходит испускание когерентного излучения. Накачка лазера может осуществляться вспомогательным лазером или другим мощным источником энергии.

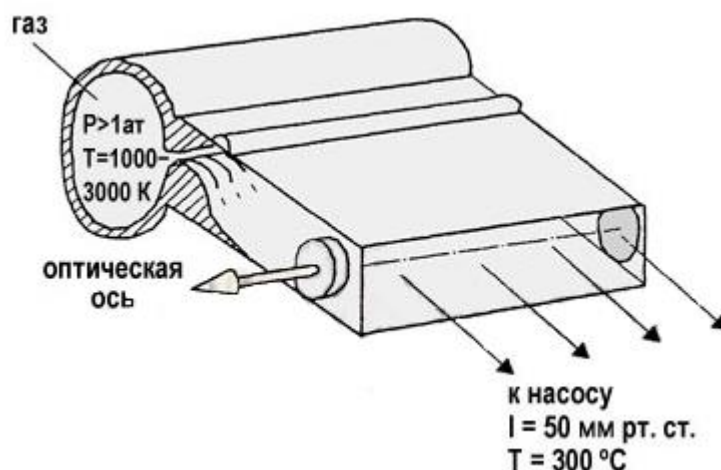


Схема газодинамического лазера

Длина волны излучения углекислотных лазеров составляет 9,4 или 10,6 мкм.

Твердотельные лазеры плохо обрабатывают неметаллы, поскольку ряд таких материалов полностью или частично прозрачен для излучения с длиной волны около 1 мкм, например, оргстекло. Лазерный луч более чувствителен к неровной поверхности обрабатываемого материала. Однако при раскросе алюминиевых сплавов, меди и латуни твердотельные лазеры имеют преимущество по сравнению с углекислотными, поскольку поглощение излучения поверхностью этих металлов значительно выше на длине волны твердотельного лазера.

Углекислотные лазеры более универсальны и применяются для обработки почти любых металлов и неметаллов. Кроме того, у них очень низкая расходимость луча, что дает возможность разместить источник излучения далеко от зоны обработки без потери качества луча.

#### **Резка различных материалов**

Для разрезания металлов в основном требуется мощность лазера от 450–500 Вт и выше, для цветных металлов – от 1 кВт и выше.

**Резку углеродистых сталей** чаще всего выполняют с применением кислорода в качестве вспомогательного газа. В результате взаимодействия кислорода с нагретым лучом металлом протекает экзотермическая реакция окисления железа обычно с выделением в 3–5 больше тепла, чем от самого лазерного излучения. Качество торцевой поверхности реза – высокое. На нижней кромке реза характерно образование незначительного грата. Наибольшую проблему представляет возможность перехода процесса резки, выполняемого на очень малых скоростях (как правило, менее 0,5 м/мин), в неуправляемый автогенный режим, при котором металл начинает разогреваться до температуры горения за пределами воздействия луча, что приводит к повышению ширины реза и увеличению его шероховатости.

В ряде случаев, например, при вырезке деталей с острыми углами и отверстиями малого диаметра, вместо кислорода предпочтительно использование инертного газа при высоком давлении.

**Лазерная резка нержавеющей стали**, в особенности больших толщин, затруднена процессом зашлаковывания реза из-за присутствия в металле легирующих элементов, влияющих на температуру плавления металла и его оксидов. Так, возможно образование тугоплавких оксидов, препятствующих подводу лазерного излучения к обрабатываемому материалу. Усложняет процесс резки и низкая жидкотекучесть расплавленных оксидов, например, свойственная для нержавеющей хромоникелевых и высокохромистых сталей.

Для получения качественного реза используется азот высокой чистоты, подаваемый при повышенном давлении (обычно до 20 атм). При резке нержавеющей стали большой

толщины требуется заглабление фокального пятна луча в разрезаемый металл. Как следствие, повышается диаметр входного отверстия и возрастает подача газа внутрь металла в зону расплава.

Для **лазерной резки алюминия и его сплавов, меди и латуни** требуется излучение более высокой мощности, что обусловлено следующими факторами:

- низкой поглощательной способностью этих металлов по отношению к лазерному излучению, особенно с длиной волны 10,6 мкм углекислотного лазера, в связи с чем твердотельные лазеры более предпочтительны;
- высокой теплопроводностью этих материалов.

Обработка малых толщин на станке лазерной резки металла может выполняться в импульсном режиме работы лазера, что позволяет уменьшить зону термического воздействия, а больших толщин – в микроплазменном режиме. Плазмообразующими являются пары легко ионизируемых металлов – магния, цинка и др. Под действием лазерного луча в области реза образуется плазма, нагревающая металл до температуры плавления и плавящая его.

При разрезании алюминия применяется вспомогательный газ с давлением более 10 атм. Структура торцевой поверхности реза – пористая с легко удаляемым гратом на нижней кромке реза. С повышением толщины металла качество торцевой поверхности реза ухудшается.

При резке латуни торцевая поверхность реза обладает пористой шероховатой структурой с легко удаляемым гратом в нижней части реза. С возрастанием толщины металла качество торцевой поверхности реза ухудшается.

#### Технологические параметры

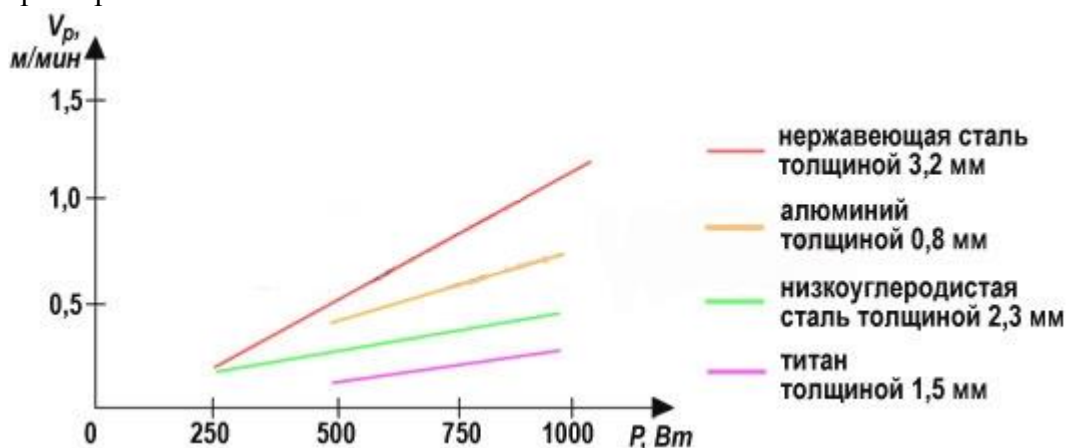
Основными технологическими параметрами процесса лазерной резки являются:

- мощность излучения;
- скорость резки;
- давление вспомогательного газа;
- диаметр сфокусированного пятна и др.

При импульсном режиме к данным параметрам добавляются:

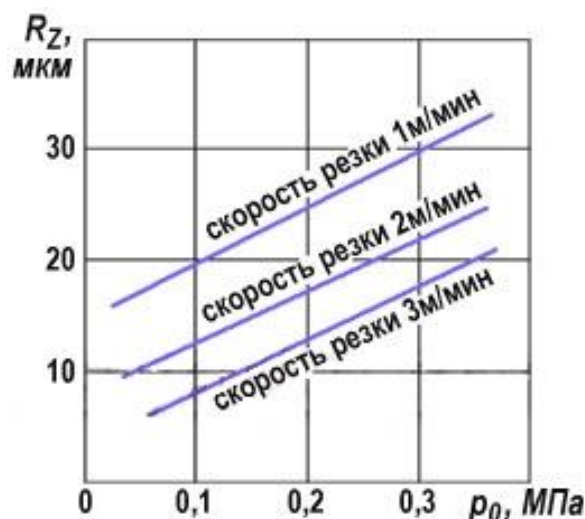
- частота повторения импульсов;
- длительность импульсов;
- средняя мощность излучения.

Эти параметры влияют на ширину реза, качество резки, зону термического влияния и другие характеристики.



#### Влияние мощности излучения на скорость резки металлов

Качество реза определяется шероховатостью его поверхности. Она отличается для различных зон по толщине металла. Наилучшее качество характерно для верхних слоев разрезанного металла, наихудшее – для нижних.



Зависимость шероховатости поверхности реза углеродистой стали от избыточного давления кислорода при разных скоростях газолазерной резки

### Преимущества, недостатки

Преимущества технологии **лазерного раскроя**:

- Возможность изготовить изделия любой сложности, любой формы и конфигурации с точностью до 0,1 мм;
- Низкая себестоимость за счет высокого качества реза, что позволяет исключить или снизить затраты на дальнейшую механическую обработку;
- Минимальное количество отходов и экономный расход листового металла в процессе производства за счет оптимальной раскладки деталей на листе;
- Высокая производительность и скорость реза за счет большой мощности лазерного излучения;
- Малая зона термического влияния в зоне резки, отсутствие механического контакта с обрабатываемой поверхностью, возможность резки легкодеформируемых и нежестких деталей;
- Резка твердых инструментальных сплавов, плохо поддающихся механической обработке;
- Универсальность оборудования позволяет изготавливать детали практически по любым чертежам.

Как и все технологии, **лазерная резка** не лишена недостатков и ограничений:

- Ограничение по толщине разрезаемого материала;
- Уступает штамповке по цене за деталь (если не учитывать стоимость изготовления штампа!).

### Литература

1. Лазерная резка [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.osvarke.com/lazernaya-rezka.html>. - Дата доступа : 25.03.2015.
2. Технология лазерной резки листового металла [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.benutek.com.ua/articles/laser-cut-technology/>. - Дата доступа : 25.03.2015.