

УДК 621.791.92

ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА ЗАПОРНОЙ АППАРАТУРЫ

Пурцеладзе Елена Борисовна

Студент 6 курса,

кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Федоров Б.М.,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

В настоящее время во многих отраслях промышленности и техники широко используются листовые конструкции и элементы из коррозионно-стойких сталей и сплавов малых и особо малых толщин. Особое место среди них занимают сильфонные компенсаторы (рис.1).

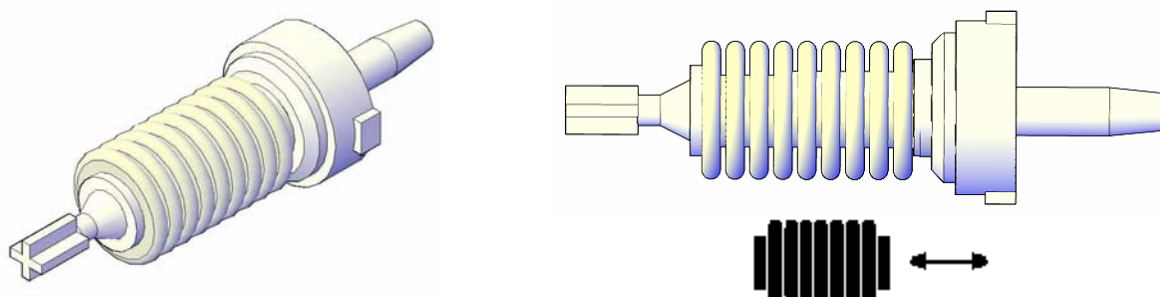


Рис.1. Сильфонный компенсатор

Основной целью данной работы являлся выбор и разработка оптимальной технологии изготовления запорной аппаратуры – сильфонного компенсатора, используемого для транспортировки агрессивных жидкостей и газов при различных температурах в топливных системах авиационной техники. Главное условие – сварное изделие должно обладать достаточной прочностью и герметичностью.

Материал изделия – сталь 12Х18Н10Т, является коррозионно-стойкой жаростойкой аустенитной высоколегированной сталью.

К технологическим сложностям сварки данного вида сталей относят дефекты формирования (непровары, подрезы) и дефекты сплошности (поры, прожоги, трещины), а также повышенное коробление и выпучивание кромок.

В настоящее время существует большое количество методов сварки сильфонов [5]. Все технологии изготовления были изучены и оценены в ходе рассмотрения технического задания на изготовление сильфона по следующим критериям: технологичности изготовления, стоимости технологии и качества готовых изделий. Из них остались технологии, частично или полностью удовлетворяющие данным требованиям: *шовная контактная сварка* (невысокая стоимость технологии, но высокий процент брака – около 40%), *аргонодуговая сварка* (недорогое оборудование, но большая зона термического влияния), *плазменная сварка* (высокая производительность, но требуется дополнительная механическая обработка), *электронно-лучевая сварка* (высокий КПД оборудования – до 98%, но низкотехнологично и необходима вакуумная гигиена), *лазерная сварка* (высокая производительность, но низкая энергетическая эффективность оборудования). Однако, именно лазерная шовная сварка сильфонов, вместо традиционной сварки (шовной контактной), позволила значительно повысить качество сварного соединения, снизить брак практически до нуля. Также с помощью лазерной шовной сварки мы имеем

возможность получить вакуумно-плотные швы, повышающие надежность сварного соединения и герметичность шва.

Теоретическая часть

Из литературных источников известны следующие экспериментальные и технологические зависимости [1] [2] [3].

1. Взаимосвязь параметров режима сварки с критериями качества.

На размеры литой зоны существенное влияние оказывает положение поверхности детали относительно фокуса излучения (рис 2). Глубина проплавления имеет максимум при заглублении фокуса под поверхность на некоторое расстояние. Форма проплавления также зависит от положения фокуса. С удалением от оптимальной зоны коэффициент формы шва, т.е. отношение глубины к ширине, уменьшается, приближаясь к сферической форме проплавления. Поэтому фокусирующие системы в технологических установках должны устанавливаться с определенной точностью, которая в конечном итоге определяется тем, насколько сильно в данных конкретных условиях сварки глубина шва зависит от смещения фокуса. Под конкретными условиями понимаются все параметры режима сварки: концентрация энергии, мощность луча, погонная энергия и т.д. Кроме того, большую роль играют характеристики фокусирующей системы, т.к. от них зависит форма и длина каустики. В нашем случае оптимальное фокусное расстояние $F_{\text{опт}} = 80$ мм, а величина перетяжки $L = 2.18$ мм.

Критерием качества сварки также является прочность соединения, которая непосредственно связана с размерами литой зоны (рис.3). При увеличении энергии усилие сначала растет, что связано с увеличением глубины и диаметра зоны проплавления. При некотором значении энергии плотность мощности оказывается недостаточной для выброса части расплавленного металла из сварочной ванны вследствие интенсивного испарения. Прочность сечения литой зоны, а вместе с ней и прочность начинают уменьшаться. При небольшой длительности импульса относительно малая площадь сечения литой зоны объясняется, с одной стороны, относительно небольшой глубиной проплавления, а с другой – преждевременным достижением интенсивного испарения и выброса расплавленного металла из сварочной ванны вследствие высокой плотности мощности.

При увеличении длительности импульса увеличивается часть энергии, теряемая в результате рассеяния теплоты за счет теплопроводности. В связи с этим увеличивается энергия, необходимая для начала плавления металла, и кривые смещаются вправо. Предельные глубина и диаметр литой зоны с увеличением длительности также растут. Именно поэтому в произведенных расчетах длительность импульса была взята достаточно большой ($\tau_{\text{имп}} = 6.3$ мс) с целью увеличения ширины литой зоны. Однако дальнейшее увеличение длительности импульса может не привести к еще большему росту размеров литой зоны вследствие увеличения потерь энергии на теплопроводность.

Изменение ширины (1) и глубины (2) проплавления в зависимости от заглупления фокуса

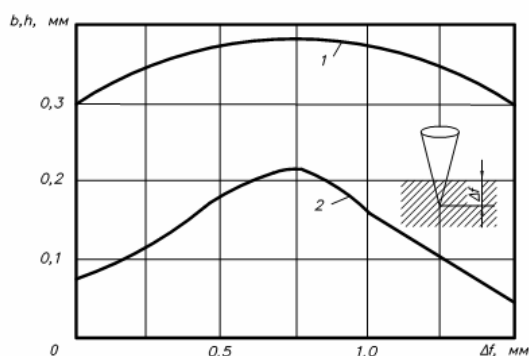


Рис. 2

Зависимость усилия разрушения сварного соединения от энергии излучения при различных длительностях импульса

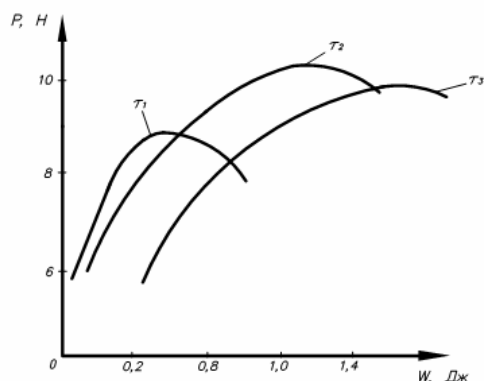


Рис.3

Существенное влияние на выбор режимов сварки оказывает тип соединения деталей, который обычно определяется особенностями конструкции узла. Зазор между соединяемыми деталями в большинстве случаев недопустим, т.к. способствует образованию горячих трещин в соединении (рис.4). Таким образом необходимо применение скользящей посадки с $\min$ зазором. При зазоре Δh , характерном для данной длительности и энергии излучения, появляются отдельные трещины, расходящиеся по радиусу от центра. Последующие сварные точки имеют ту же сетку трещин. С увеличением плотности мощности излучения и длительности импульса граница трещинообразования сдвигается в сторону больших зазоров, но влияние этих факторов различно: если увеличение длительности импульсов способствует более качественному формированию соединений, то увеличение плотности мощности излучения приводит к значительным выбросам металла, а также к образованию трещин.

Зависимость склонности металла к трещинообразованию от зазора

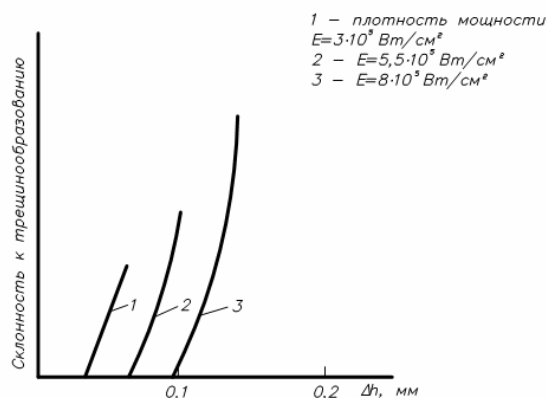


Рис.4

2. Изучение явления охрупчивания сварных соединений при импульсной лазерной сварке.

При испытаниях сварных образцов на статическое растяжение вначале с увеличением числа импульсов наблюдалось резкое снижение разрушающего усилия. Затем темп его снижения замедляется, достигая при кратности воздействия $N < 5$ некоторого $\min$ значения. Далее характер зависимости прочности от числа импульсов остается практически неизменным на протяжении всего исследуемого диапазона

импульсов. Частота следования импульсов является одной из основных характеристик импульсной лазерной сварки и оказывает существенное влияние на термический цикл в точке сварного шва и околошовной зоны (рис.5).

Характер зависимости прочности от числа импульсов

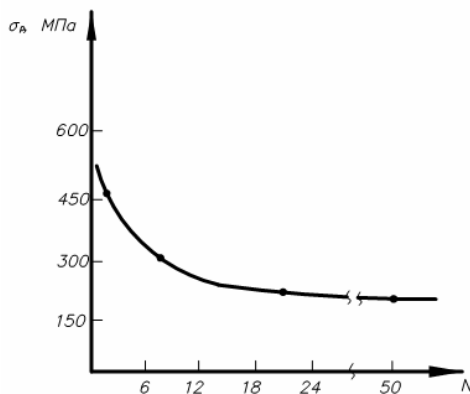


Рис.5

Экспериментальная часть

Из произведенных расчетов были получены необходимые значения режимов лазерной сварки [4]:

1. Энергия $E = 2.8$ Дж;
2. Длительность импульса $\tau_{\text{имп}} = 6.3$ мс;
3. Диаметр пятна в точке $d_n = 0.3$ мм;
4. Частота длительности импульсов $f = 5$ Гц;
5. Скорость сварки $V_{\text{св}} = 0.45$ мм/с;
6. Оптимальное фокусное расстояние $F_{\text{опт}} = 80$ мм;
7. Величина перетяжки $L = 2.18$ мм.

Образцы изготавливались на лазерной автоматизированной установке LRS-150A. На рис.6 представлена кинематическая схема комплекса и самого процесса.

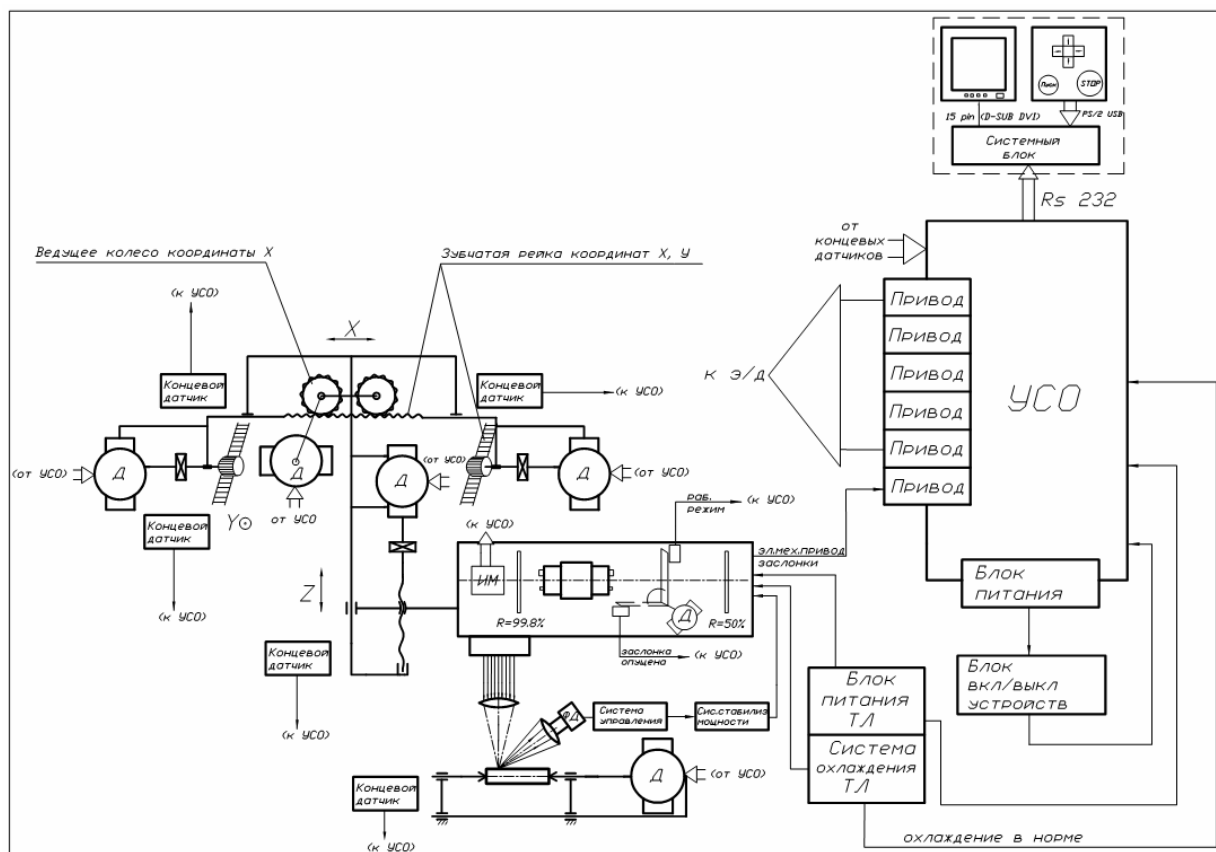


Рис.6. Кинематическая схема комплекса с управлением

Технологический комплекс состоит из твердотельного лазера, системы охлаждения, автоматизированного 2-х координатного стола, системы перемещения излучателя и специально разработанного держателя для сильфона с учетом его конструкторских особенностей. Держатель перемещается вдоль оси X и совершает круговые движения (поскольку необходимо получить круговой сварной шов в двух местах) (рис.7).

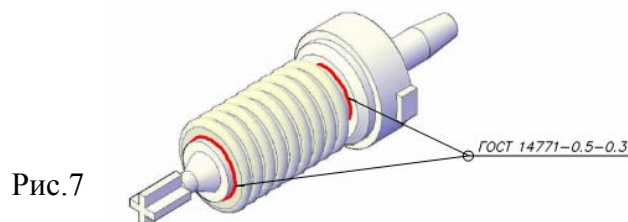


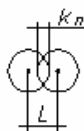
Рис.7

В результате эксперимента были сделаны 4 сварных шва для толщин, соответствующим толщинам сильфонного гофра и патрубкам, т.е. 0,2 мм и полубесконечному телу, соответственно. В таблице 1 приведены значения параметров, при которых производились эксперименты.

Таблица 1. Режимы обработки

№ п/п	E^* , %	$\tau_{\text{имп}}$, мс	f , Гц
1	50	6,5	5
2	60	6,5	5
3	45	6,5	5
4	40	6,5	5

* $E_{\text{max установки}} = 50 \text{ Дж}$



Расстояние между центрами сварных пятен $L = (1 - k_{\text{п}})d_{\text{п}} = 0.1 \text{ мм (const)}$,
где $k_{\text{п}}$ – коэффициент перекрытия = 0.7 мм,
 $d_{\text{п}}$ – диаметр пятна в фокусе = 0.3 мм.

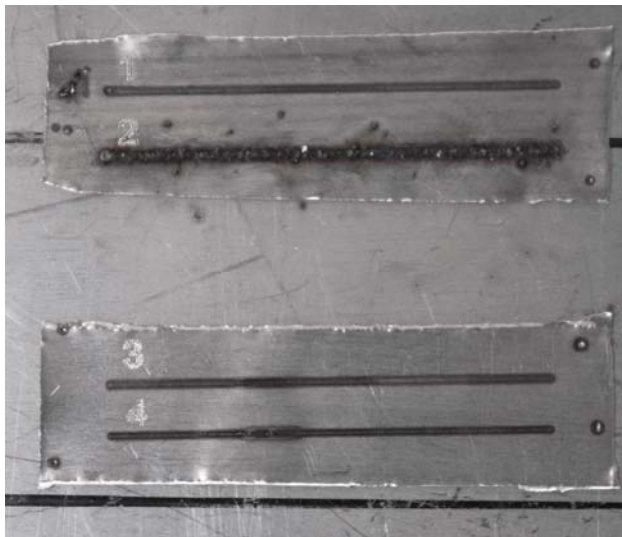


Рис.8. Образцы

По результатам экспериментов было установлено, что оптимальный вариант – №1, самый худший – №2, т.к. наблюдается прожог, сварка переходит в режим резки (рис.8).



Рис.9 Образец, из которого изготавливался шлиф

Для изготовления шлифов были выбраны три режима: №1, 2, 4 (см. таблица 1). Травление производилось реактивом Виллелло:

- 100 мл. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
- 5 мл. HCl
- 1 гр. пикриновой кислоты.

И также раствором хлористого железа: пересыщенный раствор FeCl_2 в растворе HCl .

1. **Сварной шов №1** (рис.9). Как уже было отмечено ранее, этот образец является наилучшим результатом. При энергии в импульсе 25 Дж и скорости $V_{\text{св}} = 0.45 \text{ мм/с}$ был получен шов, максимально удовлетворяющий необходимым требованиям – прочности и герметичности (рис.10).

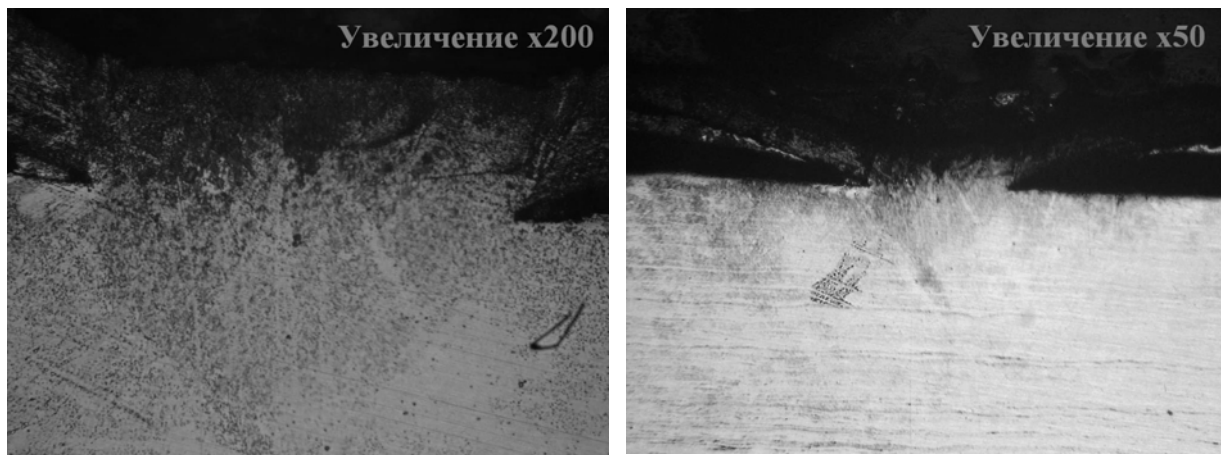


Рис. 10

2. **Сварной шов №2** (рис.9). Энергия в импульсе 30 Дж при $V_{св} = 0.45$ мм/с. При незначительном повышении энергии наблюдаются дефекты сплошности – прожоги и трещины и повышенное коробление кромок, что неизменно ведет к браку сварного шва (рис.11).

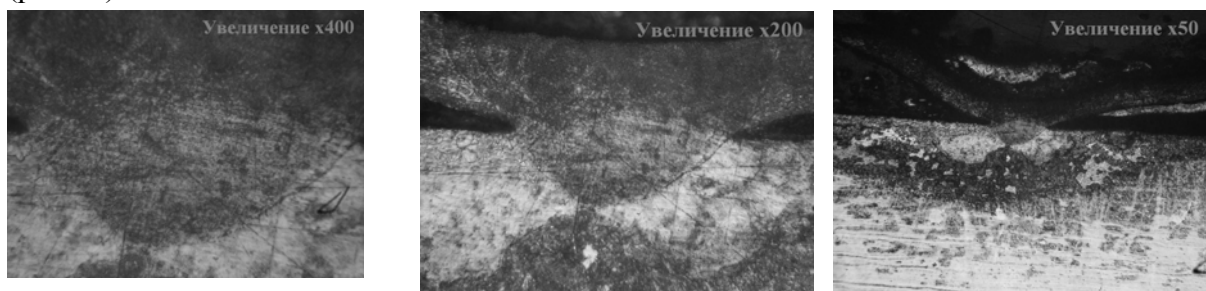


Рис.11

3. **Сварной шов №4** (рис.9). Энергия в импульсе 20 Дж при $V_{св} = 0.45$ мм/с. Этот режим обработки ближе всего к ранее произведенным расчетным данным и в большей степени удовлетворяет необходимому качеству сварного шва при визуальном осмотре. Однако на фотографиях видно, что при данном режиме сварки в шве образуются легкоплавкие эвтектики (фосфор, сера), карбиды хрома, вследствие чего возможно образование горячих трещин. Также наблюдается межкристаллитная коррозия. Таким образом, предпочтительнее вариант сварного шва №1.

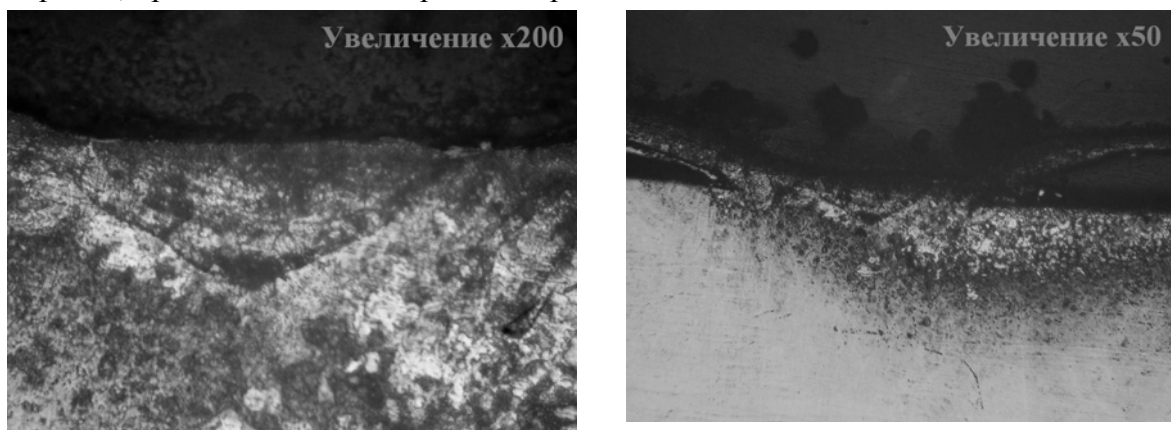


Рис.12

Далее была измерена микротвердость сварного шва №1 с помощью микротвердомера ПМТ-3. Замер производился в трех местах (рис.13):

1. основной металл: 306 HV
2. на границе: 353 HV
3. в зоне сварного шва (в центре): 396 HV

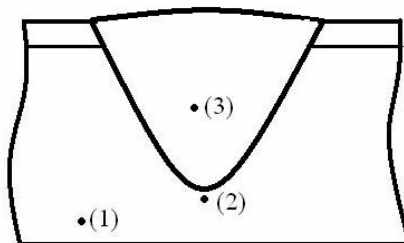


Рис.13. Схема расположения точек измерения микротвердости в сварном шве

Выводы

В процессе работы был проведен анализ влияния параметров лазерной сварки на качество сварного соединения. Установлено, что излишнее тепловложение ведет к нестабильному формированию шва и возможности появления горячих трещин. В ходе экспериментов были определены параметры импульсной лазерной сварки сильфонного узла из стали 12Х18Н10Т, удовлетворяющие основным требованиям по прочности и герметичности.

Литература

1. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н. Лазерная техника и технология. В 7 кн. Кн. 5 Лазерная сварка металлов: Учеб. пособие для вузов / Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Высш.шк., 1988. – 207с.: ил.
2. Баранов М.С., Воцинский М.Л., Гейнрихс И.Н. Лазерная сварка металлов: - М.: Машиностроение, 1971. – 52 с.
3. Григорьянц А.Г., Фромм В.А. Оптимизация характеристик сфокусированного лазерного луча для сварки. - Троицк: ПРЕПРИНТ НИЦТЛ #5, 1984, 75 с.
4. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. - М: Машгиз, 1951, 296с.
5. Ковалев В.И. Сильфонные компенсаторы: ООО «Кронштадт». - СПб - Hamburg, 2008, 82 с.