

УДК 621.375.826

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГИБРИДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ЗАКАЛИВАЮЩИХСЯ СТАЛЕЙ

Хтет Аунг Лин

*Аспирант 2 года,*

*Кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А. И. Мисюров,*

*Кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

В настоящее время в промышленности находит все более широкое применение лазерная сварка. Высокая концентрация энергии в пятне нагрева обеспечивает высокую производительность и качество изделий.

Дальнейшее развитие лазерная сварка нашла в совмещении тепловых источников. Такие способы получили названия гибридных.

Данными вопросами занимались многие исследователи. Один из первых патентов принадлежит Стину [1]. Эти идеи получены развиты в трудах Японских [2], Немецких [3], российских [4] ученых. На кафедре “Лазерные технологии в машиностроении”, МГТУ им. Н.Э. Баумана подобные работы проводятся с 1988-89г [5].

Несмотря на большое количество работ, посвященных гибридной сварке остаются невыясненными вопросам рациональной области применения этого способа.

Целью работы явилось повышение эффективности лазерного воздействия за счет совмещения источников тепла и установление его технологических особенностей при сварке закаливаемых сталей.

В предыдущих работах [6] нами было показано, что эффективность лазерного воздействия при гибридной сварке зависит от мощности и диаметра пятна нагрева дополнительного источника теплоты, а также расстояния между центрами источников теплоты. Наибольшая эффективность лазерного воздействия достигается при гибридной сварке изделий малых толщин, что справедливо для сталей с различной теплопроводностью. Расстояние между источниками теплоты при гибридной лазерной сварке, на котором эффективность лазерного воздействия максимальна, не соответствует тому, на котором скорость охлаждения минимальна.

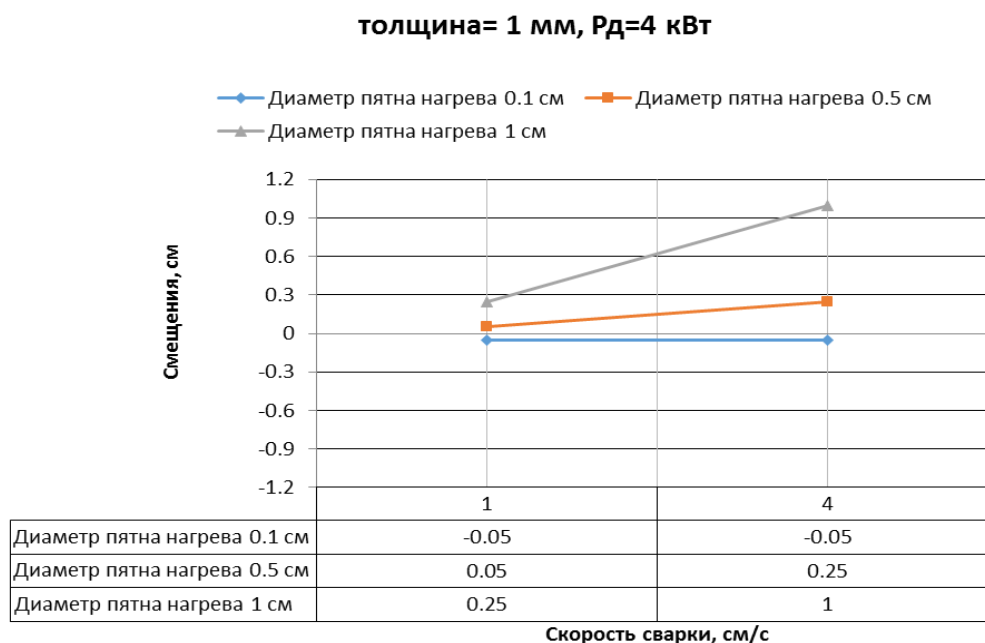
В данной работе исследовали влияние параметров гибридной лазерной сварки на эффективность лазерного воздействия. Для этого проводили расчет для сварки закаливаемых сталей с толщиной 1 и 10 мм. Скорость сварки варьировали в диапазоне 1 и 4 см/с. Диаметры дополнительного источника составляли 0,1 0,5 и 1см. Мощность дополнительного источника тепла изменяли в диапазоне 4-8 кВт, а его положение относительно центра лазерного луча в

диапазоне -1 до +1 см. Знак минус означает, что дополнительный источник тепла находится перед лазерным лучом и плюс означает наоборот. Расчеты проводили по модели, разработанной в МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с Санкт-Петербургским государственным техническим университетом [7]. Соблюдали условие полного провара пластины.

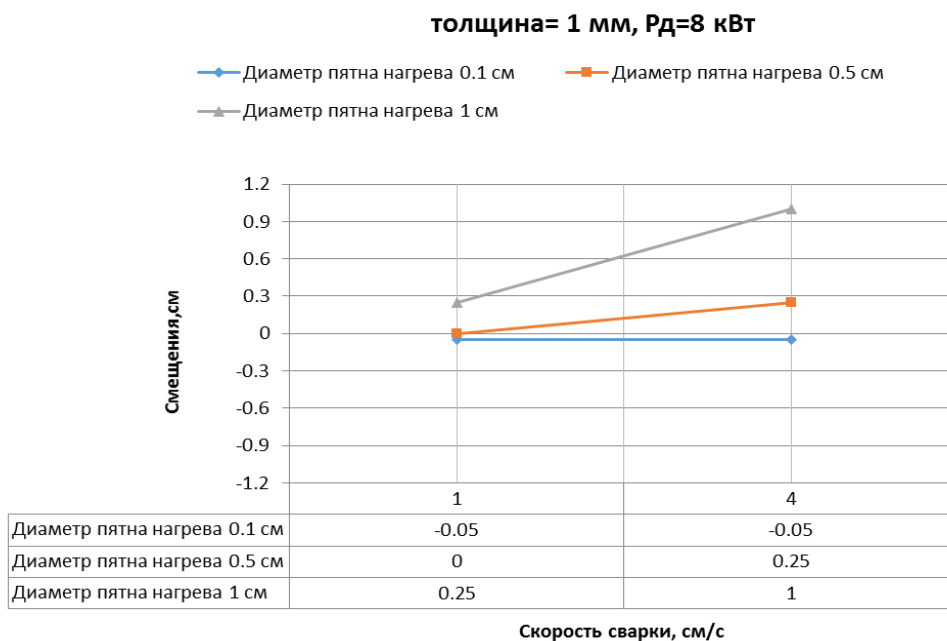
Ранее было показано, что изменение положения центра дополнительного источника тепла относительно центра лазерного луча приводит к уменьшению мощности лазерного излучения, необходимого для полного проплавления. Для разных мощностей дополнительного источника максимальное уменьшение мощности лазерного источника достигается при различных смещениях. Эффективность лазерного воздействия зависит от расстояния между центрами тепловых источников.

Оптимальное взаимное положение основного и дополнительного источника, при котором наблюдается максимальная эффективность зависит от скорости сварки, диаметра пятна нагрева, мощности дополнительного источника.

Анализ полученных расчетных данных показывает, что при сварке малых толщин в широком диапазоне мощностей дополнительного источника с увеличением скорости сварки (рис 1) для сохранения высокой эффективности необходимо увеличивать расстояние между источниками.



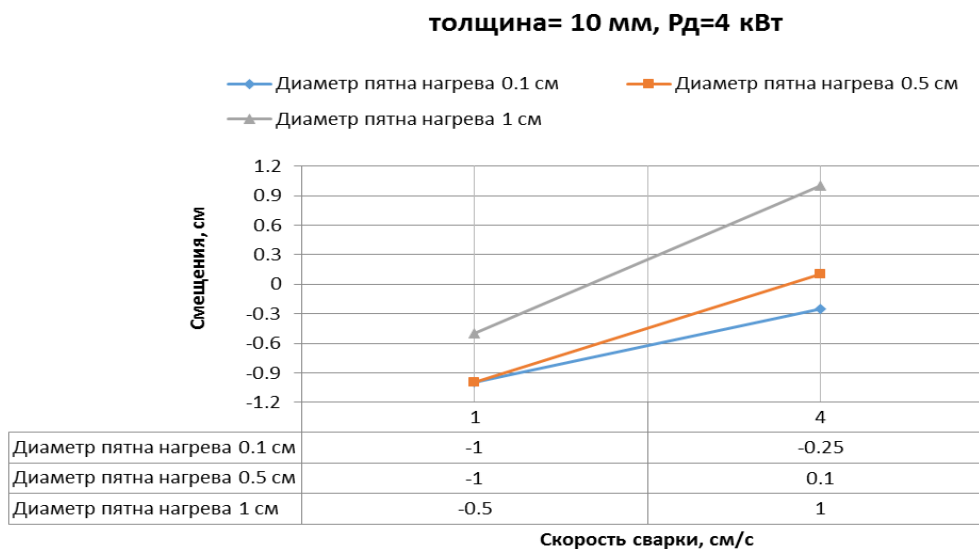
(a)



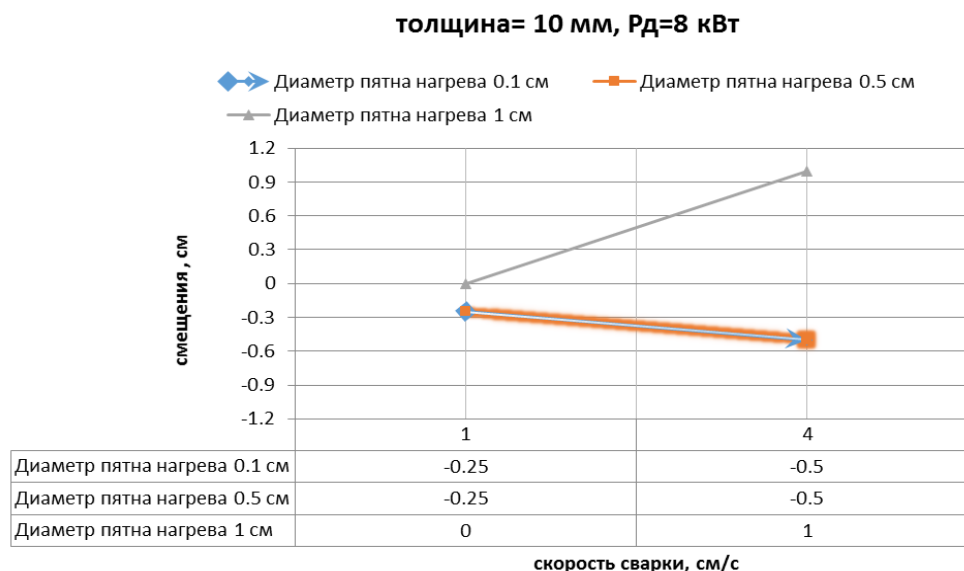
(б)

Рис 1. Зависимость рассогласования от скорости сварки при малой мощности дополнительного источника (а), при большой мощности дополнительного источника (б).

Для большей толщины эта зависимость получается иной. С увеличением скорости сварки при малой мощности дополнительного источника, необходимо увеличивать расстояние между источниками (рис 2 а), а при его большой мощности (рис 2 б) уменьшать.



(а)



(б)

Рис 2. Зависимость рассогласования от скорости сварки при большой толщине при малой мощности дополнительного источника (а), при большой мощности дополнительного источника (б).

Эффективность лазерного воздействия оценивали по формуле:

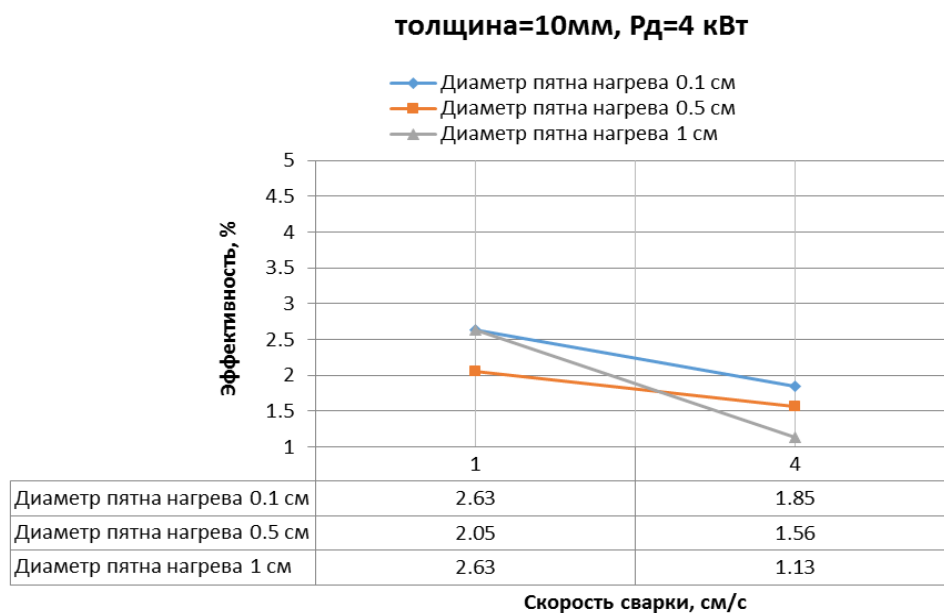
$$\mathcal{E} = [P_{\text{л.и}} (\text{max}) - P_{\text{л.и}} (\text{min})] / P_{\text{л.и}} (\text{max})$$

где  $P_{\text{л.и}} (\text{max})$  - мощность лазерного излучения, необходимая для полного проплавления пластины заданной толщины, при сварке без дополнительного источника тепла;

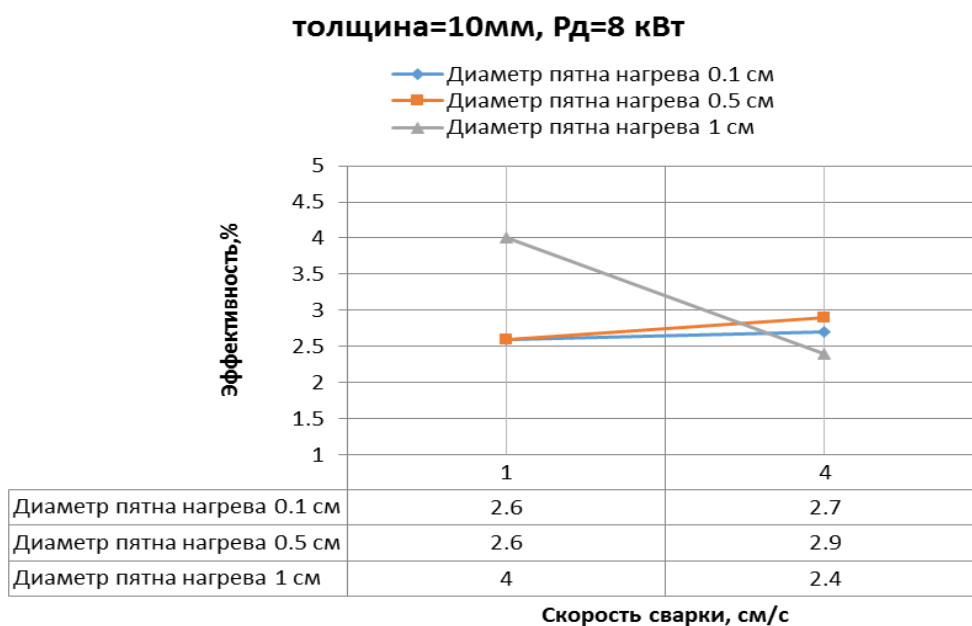
$P_{\text{л.и}} (\text{min})$  - минимальная мощность лазерного излучения, необходимая для полного проплавления пластины заданной толщины, при гибридной сварке.

Оценка эффективности показала, что для большей толщины увеличение скорости сварки, при малой мощности дополнительного источника приводит к снижению эффективности (рис 3 а). При большой мощности дополнительного источника (рис 3 б), эффективность несколько повышается, однако при большом диаметре дополнительного источника отмечено ее снижение.

Анализ влияние диаметра пятна нагрева показал, что при сварке тонких пластин его увеличение требует увеличение расстояния между лазерным и дополнительным источником тепла (рис 4). Это справедливо в широком диапазоне мощности дополнительного источника.



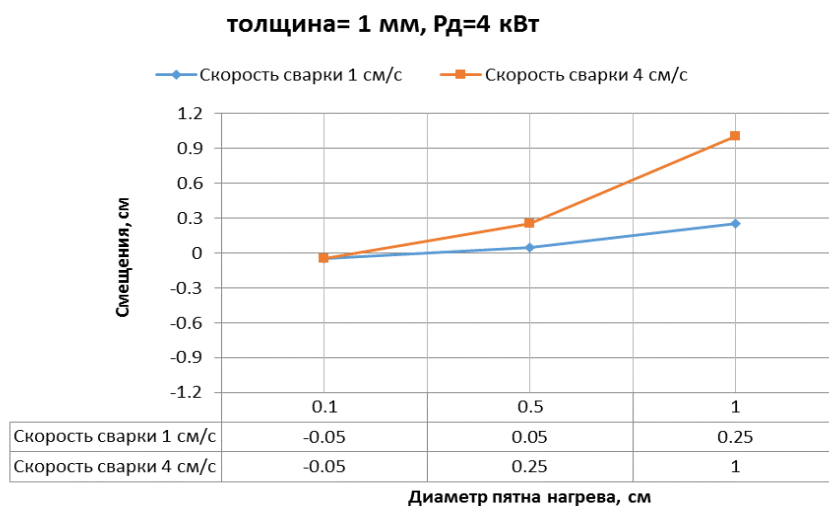
(а)



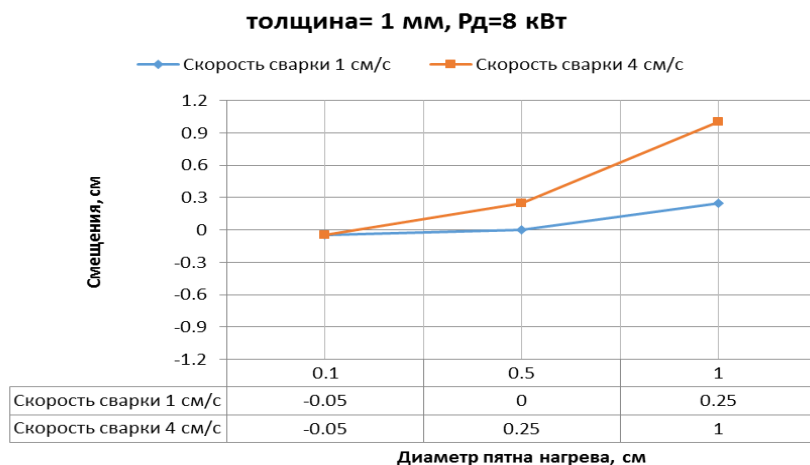
(б)

Рис 3. Зависимость эффективности лазерного воздействия от скорости сварки при большой толщине для мощности дополнительного источника 4 кВт (а) и 8 кВт (б).

В случае сварки листов больших толщин с увеличением диаметр пятна нагрева, при малой мощности дополнительного источника (рис 5 а), необходимо увеличивать расстояние между источниками, а при большой мощности наряду с этим менять его положение по отношению к лазерному лучу (рис 5 б).

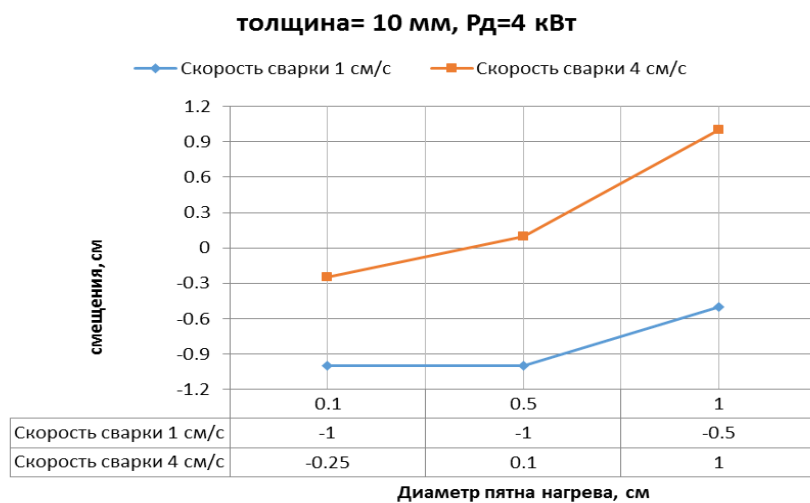


(а)

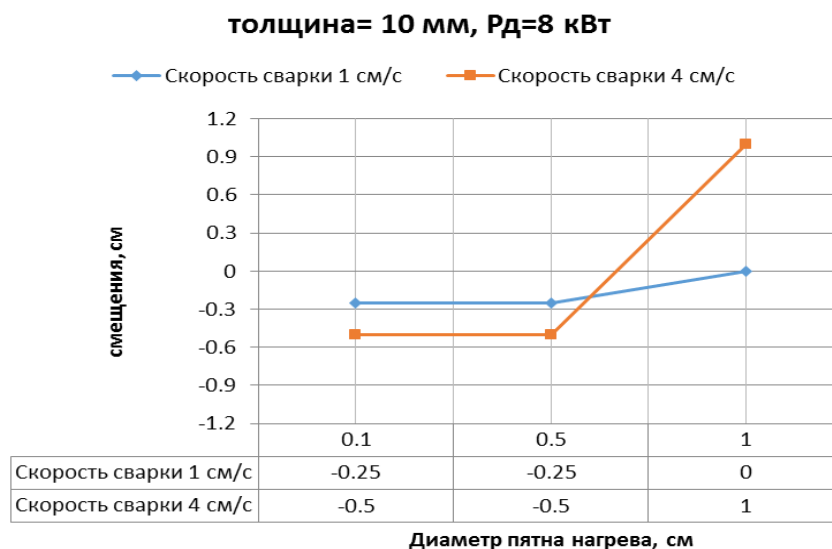


(б)

Рис 4. Зависимость рассогласования от диаметра пятна нагрева при малой мощности дополнительного источника (а), при большой мощности дополнительного источника (б).



(а)



(б)

Рис 5. Зависимость рассогласования от диаметра пятна нагрева при малой мощности дополнительного источника (а), при большой мощности дополнительного источника (б).

Полученные результаты могут служить руководством для выбора оптимальных параметров гибридной сварки с наиболее эффективным использованием лазерного излучения.

Конечные свойства сварного соединения зависят от его структуры, на формирование которой определяющее влияние оказывают параметры сварочного термического цикла, характеризующиеся скоростью охлаждения или временем пребывания металла при температурах наименьшей устойчивости аустенита. В условиях неравновесного термического цикла сварки металл сварного соединения претерпевает полную или частичную закалку, образуются преимущественно закалочные структуры, отличающиеся высокой вероятностью появления хрупких разрушений в шве или зоне термического влияния.

Для оценки вероятности появления закалочных структур в сварном шве производили расчет времени и скорости охлаждения в интервале температур 800-500<sup>0</sup>С (рис 6). Чем больше это время, тем меньше скорость охлаждения, тем ниже вероятность появления закалочных структур. Скорость охлаждения зависит от взаимного положения тепловых источников. На режимах гибридной лазерной сварки, при которых наблюдается максимальная эффективность лазерного излучения с точки зрения проплавления способности, скорость охлаждения максимальна [8]. Дальнейшие исследования позволили обнаружить изменение размеров сварочной ванны (рис 7). Например, при расстоянии между тепловыми источниками  $L = 1$  см хвостовая часть сварочной ванны удлиняется. Увеличение объема жидкого металла способствует, по видимому, увеличению времени пребывания при температурах 800 – 500<sup>0</sup>С. Анализ полученных результатов показал, что гибридную сварку закаливающихся сталей нецелесообразно проводить на режимах при которых достигается максимальная эффективность лазерного воздействия.

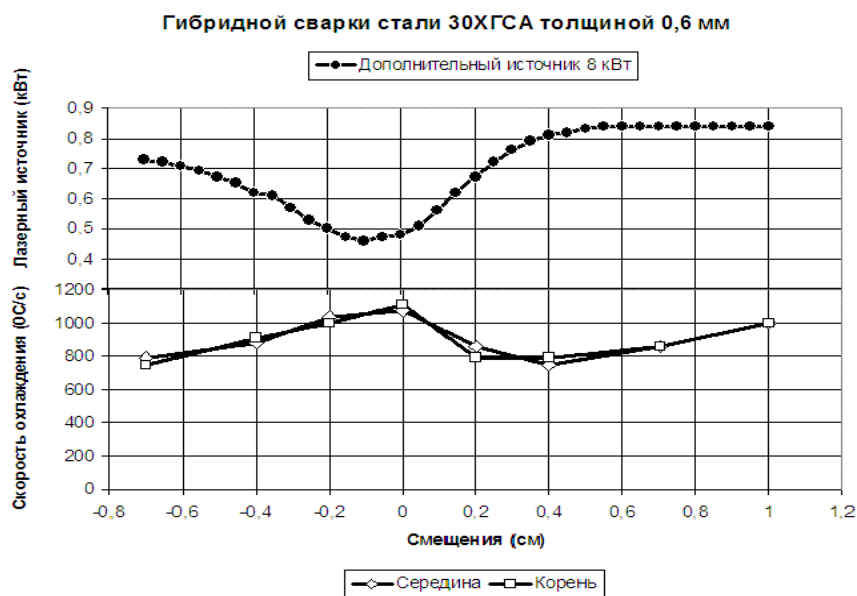


Рис 6. Сопоставление мощности лазерного излучения, необходимой для полного проплавления, и скорости охлаждения металла шва при различных взаимных положениях тепловых источников. Мощность дополнительного источника 8 кВт.

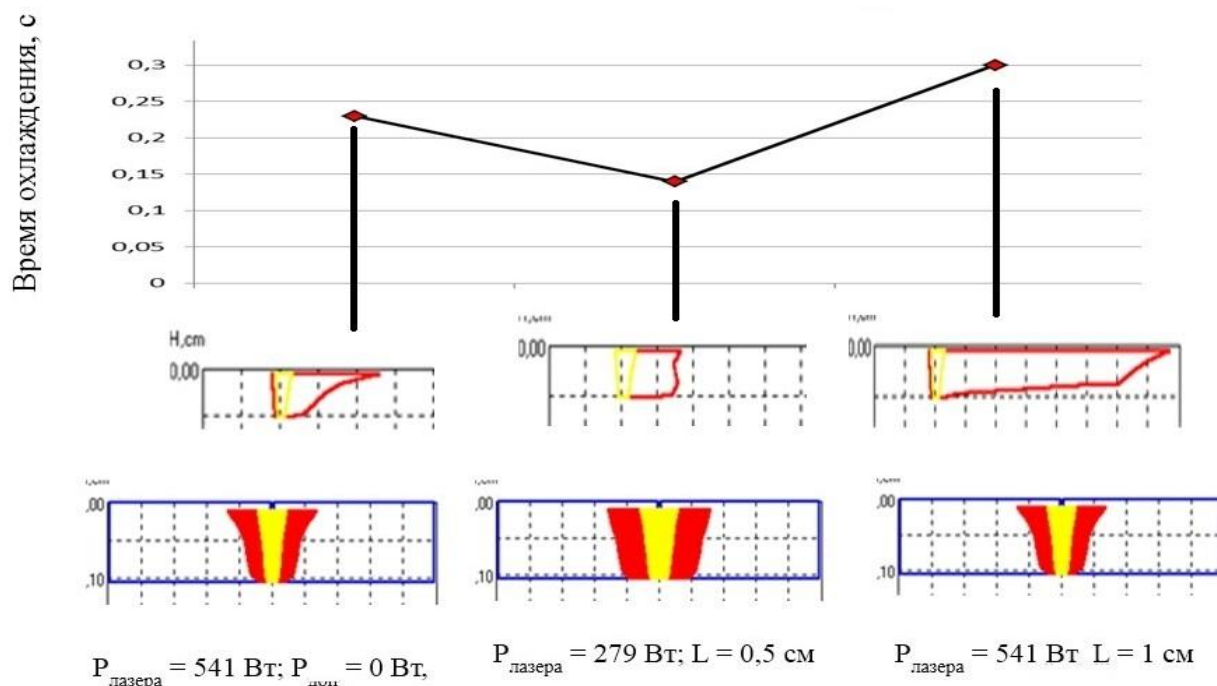


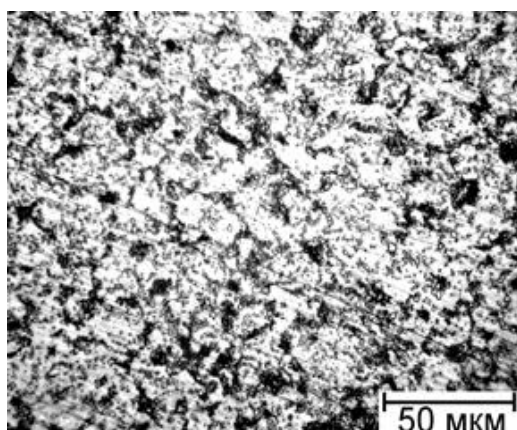
Рис 7. Время охлаждения и форма сварочной ванны в зависимости от положения дополнительного источника тепла. Сталь типа 30ХГСА; толщина 1мм;  $V_{\text{св.}} = 3,3$  см/с;  $P_{\text{доп}} = 5000$  Вт,  $d = 0,5$  см

Экспериментальные исследования подтвердили возможность управления структурой сварного соединения. В частности при гибридной сварке стали типа 30ХГСА, регулируя взаимное положение источников тепла, можно получить гамму структур от мартенсито-бейнитной до троосто-бейнитной. Оценку фазового состава и количества структурных

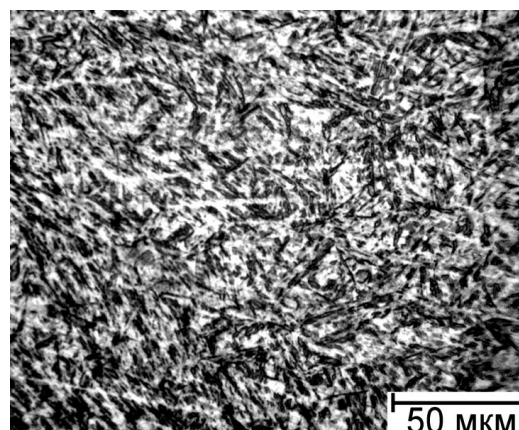
составляющих производили по результатам измерения микротвердости по методике, предложенной Майоровым Л.Н.

В исходном состоянии металл имеет перлитную структуру (рис 8 а). После лазерной сварки, процентное содержание структурных составляющих в металле сварного шва составило мартенсит – около 95%, бейнит – 5%. (рис 8 б)

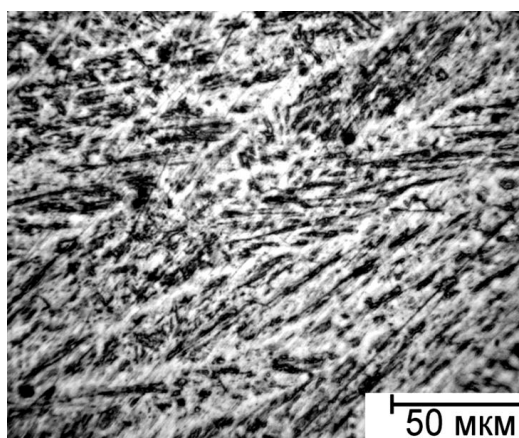
При гибридной лазерной сварке происходит снижение скорости охлаждения и структура шва состоит из троосто-бейнита. Расчетная оценка с учетом плотности вероятности распределения микротвердости показала, что литой металл шва состоит из бейнита (примерно 88%) и троостита (12%) (рис 8 в). Образование в структуре шва троосто-бейнита должно привести к повышению пластических свойств.



(а)  
В исходном состоянии  
перлит – 100%



(б)  
После лазерной сварки  
Мартенсит 95% Бейнит 5%.



(в)  
После гибридной лазерной сварки  
Бейнит 88% Троостит 12%

Рис 8. Структура металла в исходном состоянии (а), после лазерной сварки (б) и после гибридной лазерной сварки (в).

## **Выводы.**

1. Расчетная оценка показала, что наибольшая эффективность лазерного воздействия при сварке сталей различных толщин достигается при определенном соотношении скорости, диаметра пятна дополнительного нагрева, расстояния между источниками, о также их взаимного положения. Полученные данные могут служить руководством для выбора оптимальных режимов.
2. Экспериментально показано, что использование гибридной лазерной сварки для закаливающихся сталей позволяет по сравнению с лазерной получить более пластичные структурные составляющие в сварном шве.

## **СПИСОК ЛИТЕЛАТУРЫ**

1. M.W. Steen. Pat. N 4167662, USA, 1978. B23K9/00. Methods and apparatus for cutting and welding.
2. Хамадааки М., Акихиро У. Эффективность сочетания лазера со сваркой плавящимся электродом в инертном газе: Пер. с японского/ВЦП. – 1986. – Л- 46463. – с. 8 (Пер. статьи из журнала: Ое Кикай Кочаку. – 1984. - №3 – с 100-104).
3. Stauffer H., Hackl H. Laser-hybrid welding - a powerful joining technology, Proceedings of the 7th Int. Aachener Sweißtechnik Kolloq., Germany, Aachen, 2001, Vol. 1.
4. Кривцун И. В. Особенности проплавления металла при лазерно-дуговой сварке, Автоматическая сварка, 2001, № 12
5. А.Г. Григорьянц, О.Б. Бибик, В.С. Майоров, Л.А.Резник, И.Н. Шиганов. Заявка № 4815248/27 СССР, 1989. МКИ В 23 К 26/00, Головка для лазерно-дуговой сварки.
6. А.И. Мисюров, Н.А. Смирнова, Хтет Аунг Лин. Лазерная гибридная сварка тонколистовых закаливающихся сталей. BEAM TECHNOLOGIES & LASER APPLICATION Proceedings of the VII International scientific and technical Conference, 18 – 21, September 2012, Saint-Petersburg, Russia, Edited by Prof. G. Turichin, Saint-Petersburg Publishing house SPbSPU, 2013, С. 247-253.
7. Алексеев Г.М, Туричин Г.А, Мисюров А.И. и др. Перспективы применения светолазерных технологий. Автоматическая сварка, №5, 2005, С. 5-11.
8. А.И. Мисюров, Хтет Аунг Лин. Особенности Сварки Закаливающихся Сталей Лазерными Источниками Теплоты. ISSN 0236-3941, Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, Сер. “Машиностроение”, 2012, С. 78-84.