

## ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ МАТЕРИАЛА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИБРИДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ

Быков Алексей Александрович

Студент 4 курса, специалист,  
кафедра «Машиностроительные Технологии»  
Московский государственный технический университет

Научный руководитель: А.И. Мисюров  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

Ресурсосберегающие технологии предполагают экономию энергии при обработке материалов. Лазерные методы отличаются сравнительно низким КПД, поэтому повышение эффективности лазерного воздействия является в настоящее время актуальной задачей [1]. Известны гибридные способы, позволяющие повысить эффективность лазерного воздействия, в частности за счет синергетического эффекта. Явление синергетического эффекта (Рис. 1) возникает при условии совмещения двух или более источников энергии, в результате чего происходит значительное возрастание эффективности воздействия источников энергии на материал. То есть, если рассматривать этот эффект с позиции математики мы получим довольно неожиданный результат:  $1+1=3$

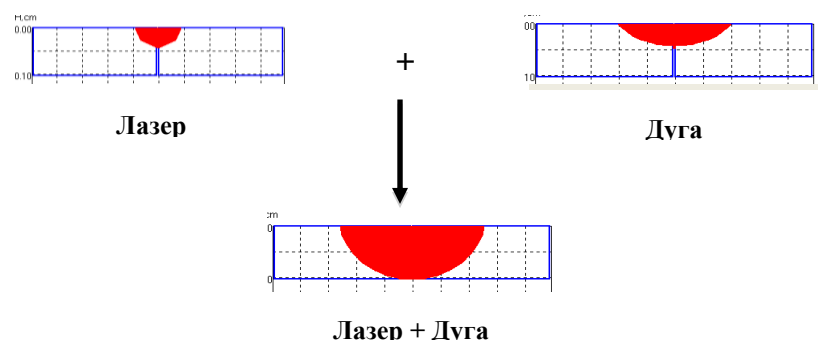


Рис. 1. Синергетический эффект.

Целью данной работы является определение эффективности лазерного воздействия при сварке закаливающих сталей различных толщин.

Исследования проводились применительно низколегированной стали типа ХН2ГМ. Данные стали используются в сварных конструкциях, где требуется очень высокая прочность. Обычно она используется в качестве конструкционной стали в кранах или в другом крупном промышленном оборудовании, подверженном высоким нагрузкам.

В работе определяли эффективность лазерного воздействия при изменении толщины свариваемых пластин в диапазоне 1,5...4 мм.

В расчетах варьировали следующие показатели:

- Скорость в интервале 1 ... 5 см/с
- Расстояние между источниками -1 ... 1 см
- Диаметр пятна нагрева доп. источника 0,5 ... 1 см
- Толщину пластин 1,5 ... 4 мм

Эффективность лазерного воздействия оценивали следующим образом [3]:

$$\varepsilon = \frac{P_{\text{ли.}}^{\text{max}} - P_{\text{ли.}}^{\text{min}}}{P_{\text{ли.}}^{\text{max}}}, \text{ где}$$

$P_{\text{ли.}}^{\text{max}}$  - мощность лазерного излучения, необходимая для полного проплавления пластины заданной толщины, при сварке без дополнительного источника тепла;

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

Все расчеты проводились по программе, разработанной в МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с СПбГУ, предполагающую использование распределенного источника энергии в качестве дополнительного [2]. Результаты расчета можно отнести к лазерно-дуговой неплавящимся электродом или лазерно-световой сварке.

Ранее [3, 4] было установлено, что эффективность лазерного воздействия зависит от расстояния между лазерным и дополнительным источниками. Так же было установлено, что при увеличении скорости сварки, для того чтобы получить максимальную эффективность, необходимо чтобы дополнительный источник “шел” впереди лазерного и расстояние с увеличением скорости сварки должно возрастать.

Эффективность лазерного воздействия при гибридной сварке закаливаемых сталей снижается с увеличением толщины свариваемых листов. Это справедливо в широком диапазоне скоростей и плотностей мощности дополнительного источника.

На диаграмме (рис. 3) представлены зависимости эффективности от скорости сварки, при сварке разных толщин с диаметром пятна нагрева дополнительного источника 1 см.

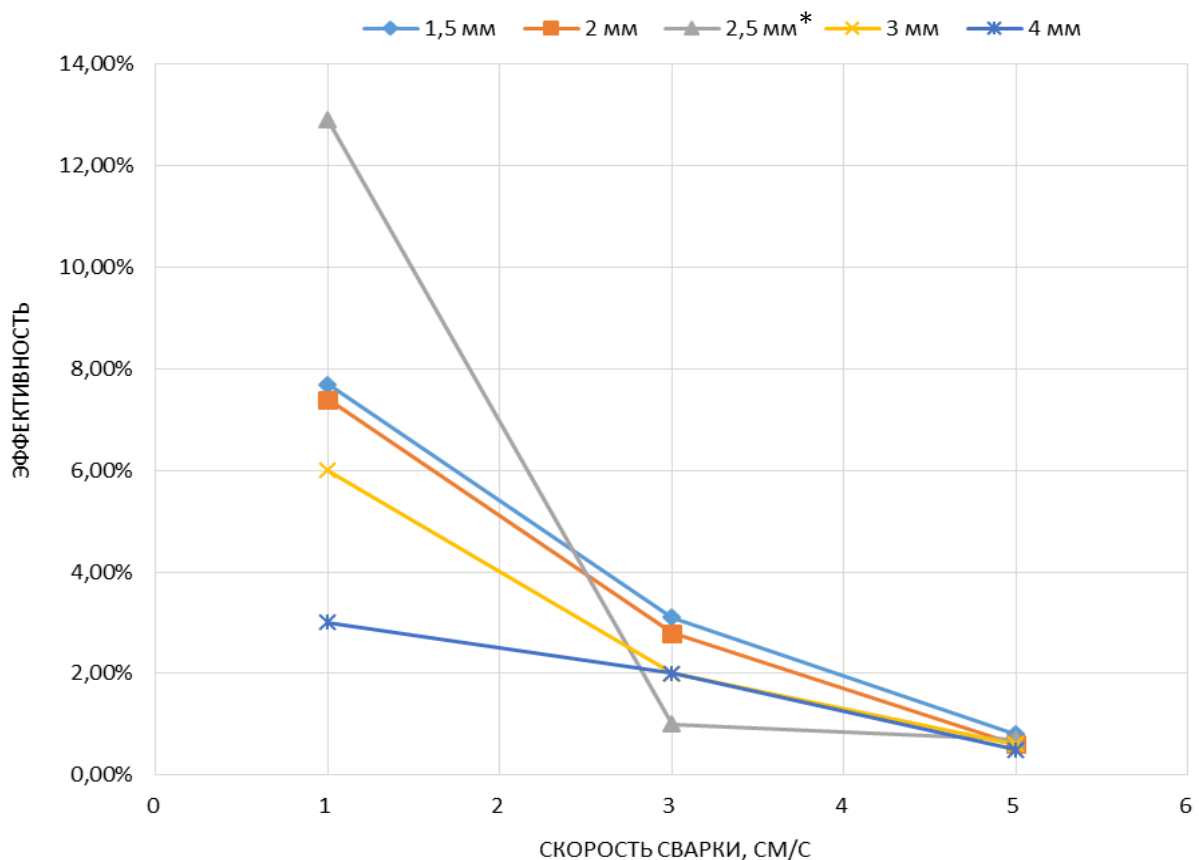


Рис. 2. Зависимость изменения эффективности лазерного воздействия от скорости при различных толщинах материала. Диаметр дополнительного источника 1 см.

В большинстве случаев у всех кривых (рис. 2, 3) просматривается одинаковая тенденция, за исключением кривой отмеченной в легенде знаком звездочка – это мы связываем с несовершенством расчетной модели.

На малых скоростях и при увеличении диаметра дополнительного источника эффективность падает (рис. 2). Так при сварке пластины толщиной 1,5 мм на скорости 1 см/с эффективность лазерного воздействия составила 7,7%, а для толщины 4 мм - 3%, т.е. в случае сварки пластины толщиной 4 мм эффективность снижается в 2,5 раза (или на 4,7%). При сварке на скорости 3 см/с эта разница уменьшается до 1,1%. Для скорости 5 см/с разницу можно считать не существенной, так как она составила всего 0,3%. В данном случае эффективность зависит от толщины пластин.

Уменьшение диаметра пятна нагрева до 0,5 см приводит к уменьшению его распределенности и увеличению плотности мощности. Это оказывает несколько иное влияние на эффективность сварки разных толщин (рис. 3).

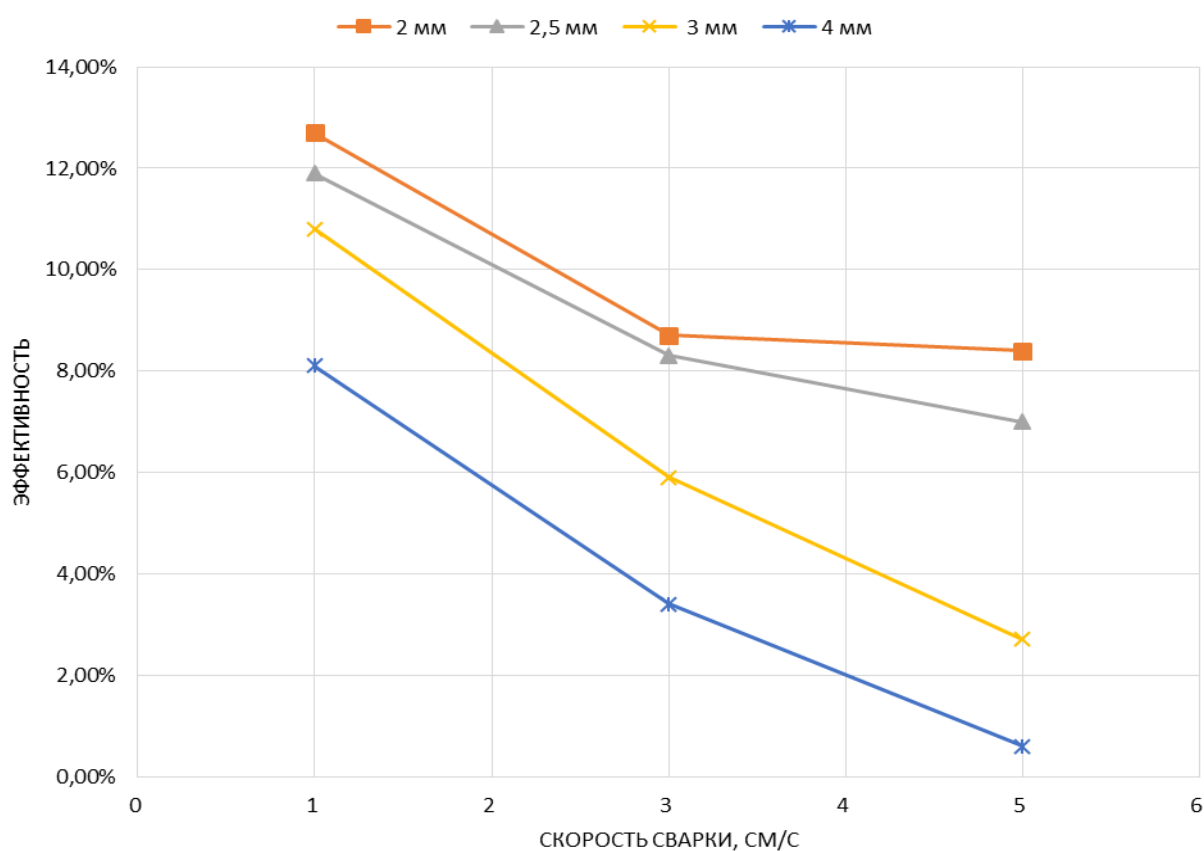


Рис. 3. Зависимость изменения эффективности лазерного воздействия от скорости при различных толщинах материала. Диаметр дополнительного источника нагрева 0,5 см.

На малых скоростях и при малом диаметре дополнительного источника, толщина сварных пластин заметно влияет на конечный результат (рис. 3). Так при сварке пластины толщиной 2 мм на скорости 1 см/с эффективность лазерного воздействия составляет 12,7%, а для толщины 4 мм – 8,1%, т.е. в случае сварки пластины толщиной 4 мм эффективность снижается в 1,5 раза (или на 4,6%). При сварке на скорости 3 см/с эта разница увеличивается до 5,3%, а для скорости 5 см/с разница составляет 7,8%. То есть, как видно из рисунка 3, в случае малого диаметра дополнительного источника энергии, толщина пластин перестает влиять на эффективность.

Далее представлены графики (рис. 4, 5), показывающие как меняется мощность лазерного источника в зависимости от скорости сварки. Толщина материала в обоих случаях равна 1,5 мм.

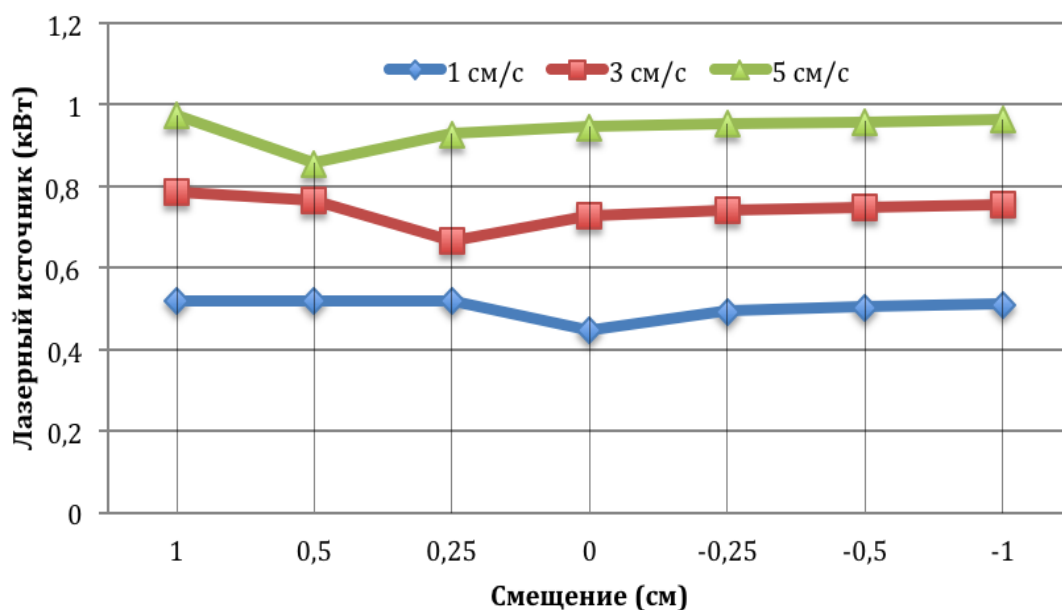


Рис. 4. Зависимость изменения мощности лазерного источника от скорости сварки, при диаметре дополнительного источника 0,5 см.

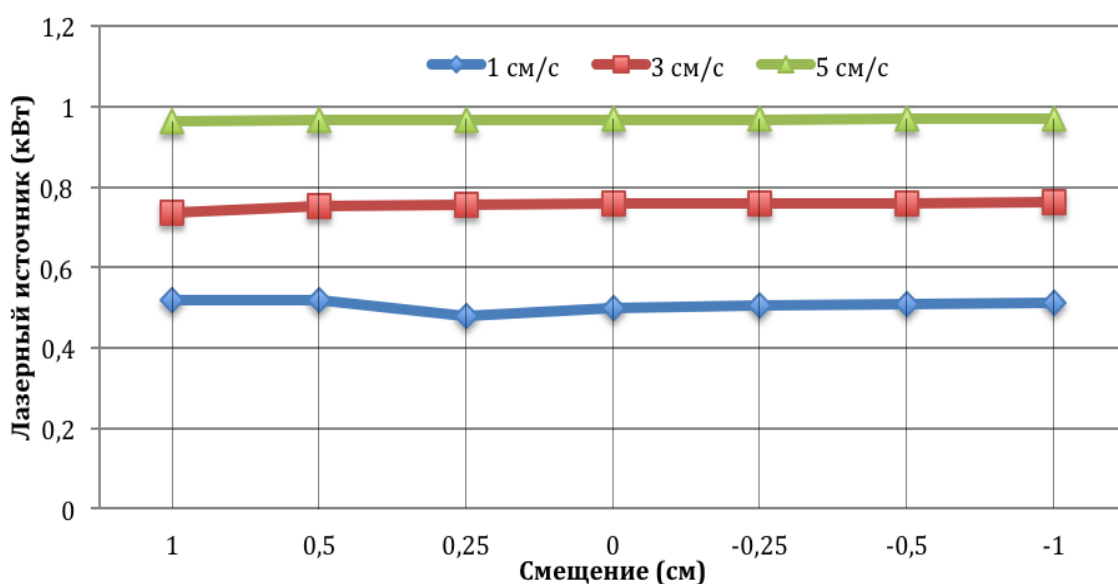


Рис. 5. Зависимость изменения мощности лазерного источника от скорости сварки, при диаметре дополнительного источника 1 см.

Оптимальное взаимоположение дополнительного и основного источников зависит от скорости сварки (рис. 4, 5). Знак минус, в обозначении смещения на графиках, обозначает, что дополнительный источник находится за лазерным.

На малых скоростях (1 см/с) и при малом диаметре (0,5 см) дополнительного источника (рис. 4), нужно совмещать основной и дополнительный источник тепла. Далее, при увеличении скорости до 3 см/с и 5 см/с, расстояния между источниками должно увеличиваться, причем дополнительный источник должен идти перед основным.

Если диаметр пятна дополнительного источника увеличивается до 1 см (рис. 5), то изменение мощности лазерного источника получается не значительным. В данном случае, изменение положения дополнительного источника относительно основного, оказывает малое влияние на эффективность. Значит, эффективность сварки металлов различных толщин зависит от диаметра пятна нагрева дополнительного источника.

Аналогичное поведение графиков наблюдается при толщинах от 1,5 до 4 мм.

#### Выводы:

1. При лазерной гибридной сварке эффективность лазерного воздействия снижается с увеличением толщины свариваемого материала.
2. Увеличение скорости сварки приводит к снижению эффективности для всех исследованных толщин.
3. При большом диаметре пятна дополнительного источника нагрева, с увеличением скорости сварки, толщина пластин перестает оказывать влияние на эффективность.
4. Чем выше плотность мощности дополнительного источника, тем эффективнее протекает процесс сварки исследованных толщин.
5. При малых скоростях и толщинах материала, для повышения эффективности, нужно совмещать основной и дополнительный источник тепла.
6. С увеличением скорости сварки, необходимо отдалять друг от друга источники нагрева, причем дополнительный источник должен обгонять основной. Это справедливо для всех толщин материала.

#### Литература:

1. *А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.М. Чирков.* Гибридные технологии лазерной сварки. Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008. – 68с.
2. *Г.М. Алексеев и др.* Перспективы применения светолазерных технологий. Автоматическая сварка, №5, 2005, с. 5-11.
3. *А.И. Мисюров, Хтет Аунг Лин.* Особенности сварки закаливающих сталей лазерными гибридными источниками теплоты. ISSN 0236-3941. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Машиностроение”. 2012 с.78-84
4. *А.И. Мисюров, А.А. Быков.* “Эффективность лазерного воздействия при гибридной сварке”, Издатель "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038. ISSN 2307-0609 Молодежный научно-технический вестник # 06, июнь 2013