

А.И. Мисюров, Аунг Лин Хтет

**ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ ЗАКАЛИВАЮЩИХСЯ
СТАЛЕЙ ЛАЗЕРНЫМИ ГИБРИДНЫМИ
ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛОТЫ**

Рассмотрены вопросы гибридной лазерной сварки сталей с различной теплопроводностью. Установлено влияние технологических параметров на эффективность лазерного воздействия. Наибольшая эффективность достигается при сварке тонколистовых материалов. Показаны особенности выбора технологических параметров при гибридной сварке закаливающихся сталей.

E-mail: amisiurov@yahoo.ru

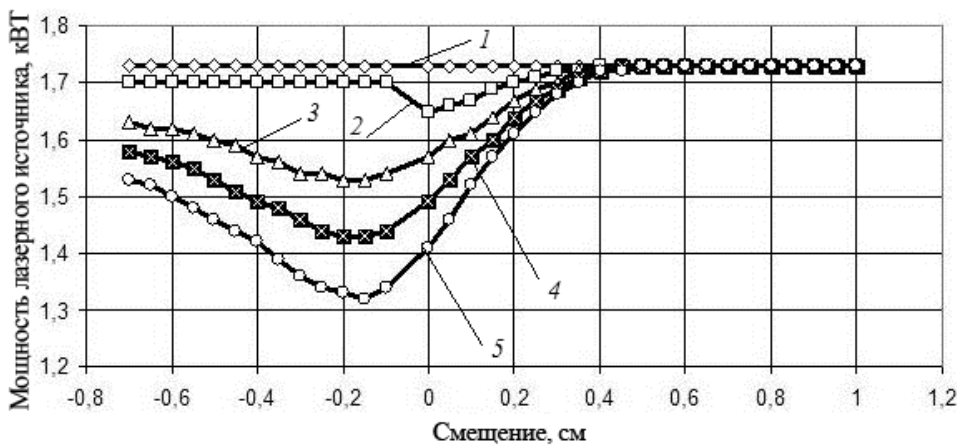
Ключевые слова: лазер, источник теплоты, совмещение, эффективность.

В настоящее время в промышленности все более широко применяется лазерная сварка. Высокая концентрация энергии в пятне нагрева при такой сварке обеспечивает высокую производительность и качество изделий. Использование дополнительного источника теплоты позволяет повысить эффективность процесса лазерной сварки [1]. Реализация преимуществ достигается при регулировании взаимного положения источников теплоты с различными распределениями плотности мощности.

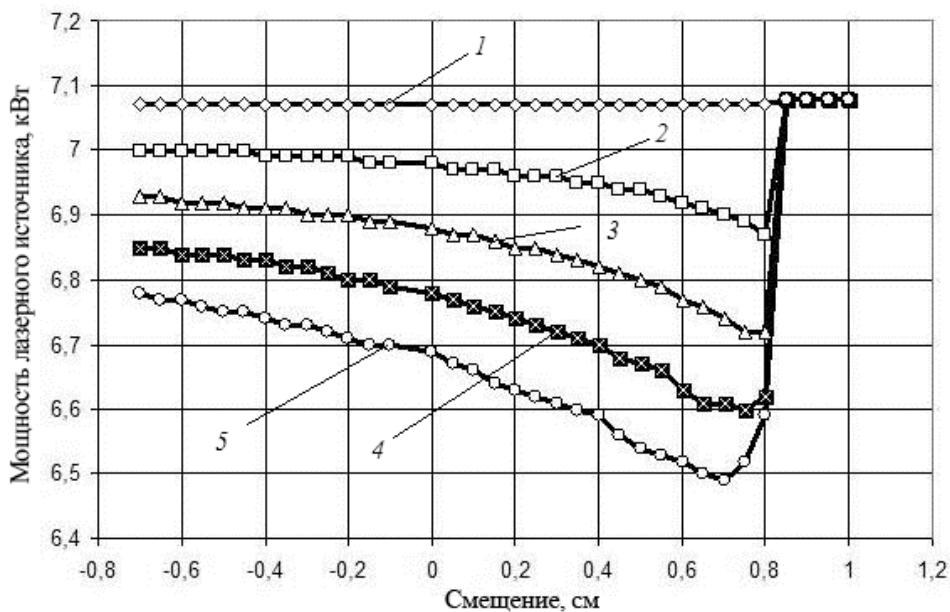
Сложность процессов лазерной сварки создает трудности в экспериментальном определении области рациональных режимов. Поэтому для этого использовали метод компьютерного моделирования, который упрощает выбор оптимальных параметров обработки. Для расчетов применяли модель, разработанную в МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с Санкт-Петербургским государственным техническим университетом [2].

На первом этапе исследовали влияние толщины свариваемого металла с различными теплофизическими свойствами на эффективность процесса гибридной сварки. Провели расчет для сварки закаливающейся стали 30ХГСА ($\lambda_t = 0,32$ Вт/(см·К)) и аустенитной стали X18Н9 ($\lambda_t = 0,163$ Вт/(см·К)) различной толщины: 0,6; 10; 100 мм. Изменяли мощность дополнительного источника теплоты в диапазоне значений 2...8 кВт и его положение относительно центра лазерного луча (смещение) в диапазоне значений $-1 \dots +1$ см (рис. 1), а также диаметр дополнительного источника теплоты. Соблюдали условие полного провара пластины. Скорости сварки составляли 1, 3, 4 и 5 см/с.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что с увеличением мощности дополнительного источника теплоты уменьшается мощность лазерного излучения, необходимая для полного проплавления заданной толщины металла. Эффективность лазерного воздействия также зависит от расстояния между центрами источников теплоты.

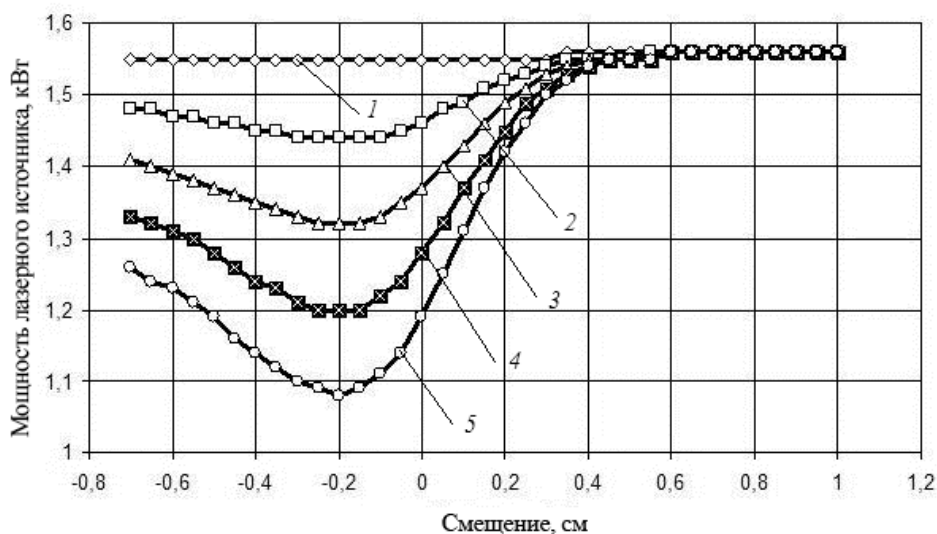


a

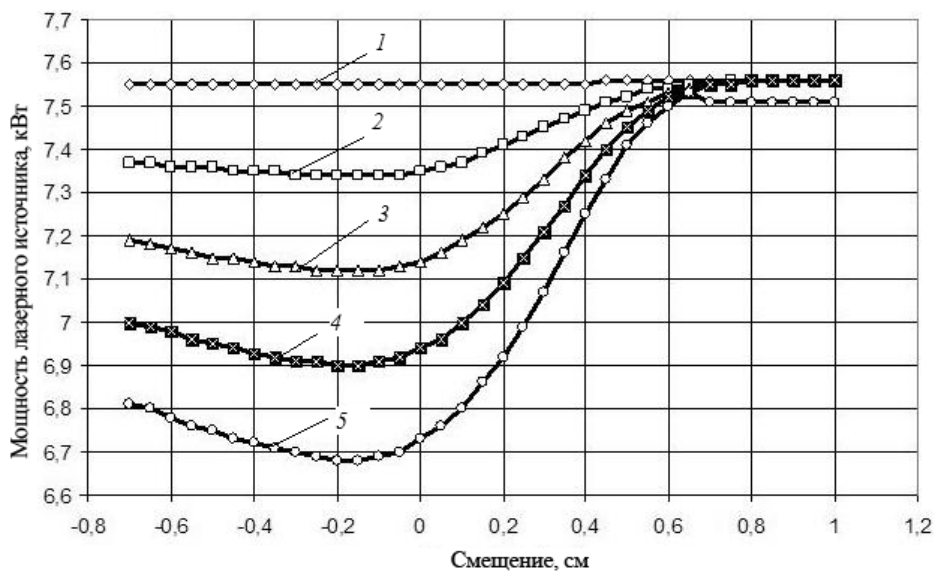


б

Рис. 1 (начало). Зависимости мощности лазерного источника от его смещения относительно центра лазерного луча при мощностях дополнительного источника 0,1 (1), 2 (2), 4 (3), 6 (4) и 8 (5) кВт



6



2

Рис. 1 (окончание). Зависимости мощности лазерного источника от его смещения относительно центра лазерного луча при мощностях дополнительного источника 0,1 (1), 2 (2), 4 (3), 6 (4) и 8 (5) кВт

Для каждого режима сварки, параметров лазерного излучения и материала существует оптимальное значение рассогласования взаимного положения источников теплоты, при котором наблюдается максимальная эффективность. Оптимальное взаимное положение основного и дополнительного источников теплоты существенно зависит от диаметра пятна нагрева (рис. 2, *а*) и скорости сварки (рис. 2, *б*). Полученные зависимости справедливы для сталей, существенно различающихся по теплофизическим свойствам, и свидетельствуют о повышении эффективности лазерного воздействия.

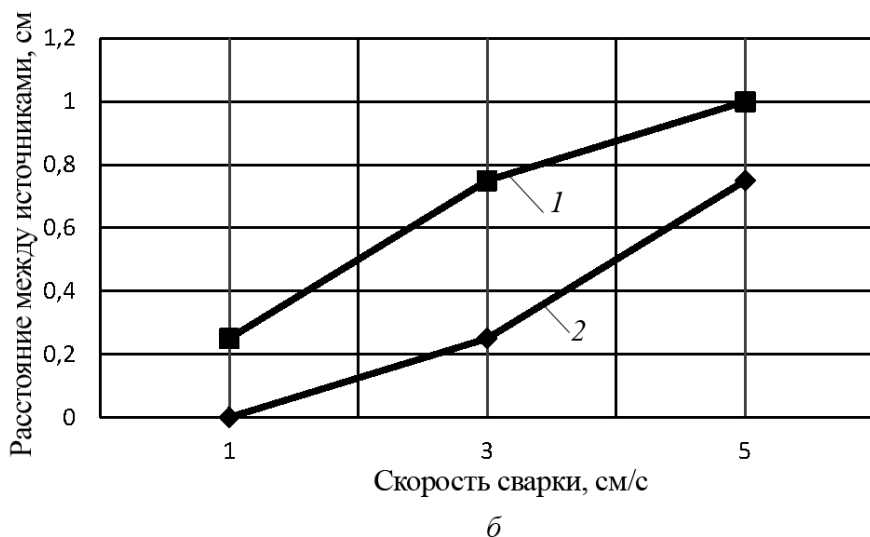
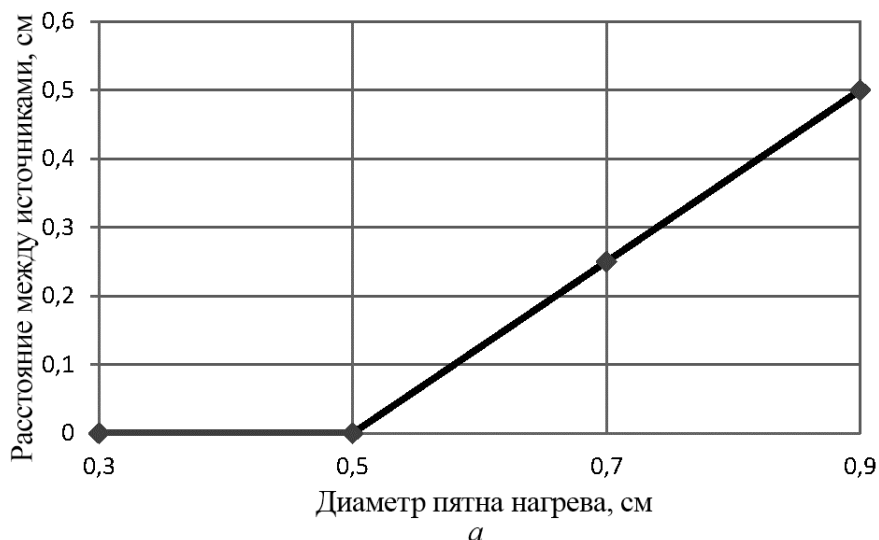


Рис. 2. Зависимости расстояния между источниками от диаметра пятна нагрева (*а*) и от скорости сварки (*б*):

1, 2 — для 0,5 и 0,7 см соответственно

Эффективность лазерного воздействия оценивали по формуле

$$\Xi = [P_{\text{л.и max}} - P_{\text{л.и min}}] / P_{\text{л.и max}},$$

где $P_{\text{л.и max}}$ — мощность лазерного излучения, необходимая для полного проплавления пластины заданной толщины, при сварке без дополнительного источника теплоты; $P_{\text{л.и min}}$ — минимальная мощность лазерного излучения, необходимая для полного проплавления пластины заданной толщины, при гибридной сварке.

Наибольшая эффективность лазерного воздействия при гибридной сварке достигается при малых толщинах металла. Так, при толщине 0,6 мм для стали 30ХГСА на скорости 1 см/с эффективность процесса повышается на 45 %, а при толщине 100 мм — только на 2 %. Увеличение скорости сварки малых толщин металла снижает эффективность (рис. 3, а), при больших толщинах наблюдается обратная зависимость (рис. 3, б). Это справедливо для сталей с различной теплопроводностью. Таким образом, использование дополнительного источника теплоты наиболее эффективно при гибридной сварке тонколистовых сталей.

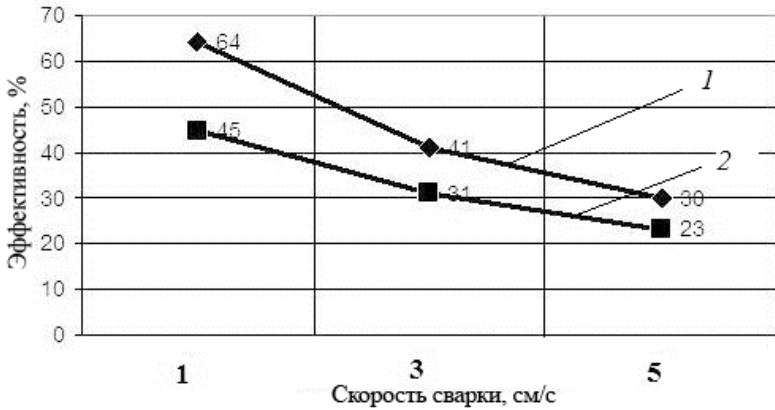


Рис. 3. Зависимости эффективности лазерного воздействия от скорости сварки для сталей X18H9 (1) и 30ХГСА (2)

При назначении режимов гибридной лазерной сварки следует иметь в виду, что в сварных соединениях закаливающихся сталей возможно образование закалочных структур. Это может снизить структурно-чувствительные свойства и в первую очередь технологическую прочность. Например, в сварных соединениях изделий, изготовленных из стали 30ХГСА, уменьшается пластичность и увеличивается вероятность появления холодных трещин. Использование дополнительного источника теплоты открывает возможности регулирования тепловой обстановки при сварке.

Основными параметрами сварочного термического цикла (СТЦ), влияющими на конечную структуру и свойства сварного соединения, являются время пребывания металла выше температуры 900 °С, скорость охлаждения при температуре наименьшей устойчивости аустенита (~500 °С), скорость охлаждения при температуре около 300 °С, обуславливающая самоотпуск мартенсита на этапе охлаждения [3]. Изменением значений параметров сварочного термического цикла можно добиться благоприятной структуры сварного соединения.

Для лазерной сварки характерны малое время пребывания металла выше температуры 900 °С и высокие скорости охлаждения при температуре наименьшей устойчивости аустенита. Поэтому в результате термического воздействия в металле сварного соединения образуется преимущественно мартенситная структура, отличающаяся низкой пластичностью.

Второй этап работы был посвящен выявлению возможности управления структурой за счет использования дополнительного источника теплоты. Для этого проводили оценку тепловой обстановки в зоне сварного соединения. Рассчитывали время пребывания металла шва в диапазоне значений температуры 800...500 °С и оценивали скорость охлаждения в этом диапазоне в середине и корне шва при гибридной сварке стали 30ХГСА толщиной 0,6 мм. Расчеты показали, что указанные параметры, так же как и мощность лазерного излучения, необходимая для полного проплавления, существенно зависят от взаимного положения источников теплоты. На режимах гибридной лазерной сварки, при которых наблюдается максимальная эффективность лазерного излучения с точки зрения проплавляющей способности, время пребывания меньше, а значит, и скорость охлаждения выше (рис. 4). Таким образом, режимы, на которых достигается максимальная эффективность лазерного воздействия, не совпадают с режимами, на которых скорость охлаждения минимальна.

Экспериментальная проверка полученных результатов показала, что при гибридной лазерной сварке стали 30ХГСА на высокоэффективных режимах с точки зрения проплавляющей способности в металле шва образуется крупноигольчатая структура, состоящая в основном из мартенсита и бейнита. Такая структура мало пластична и склонна к образованию трещин.

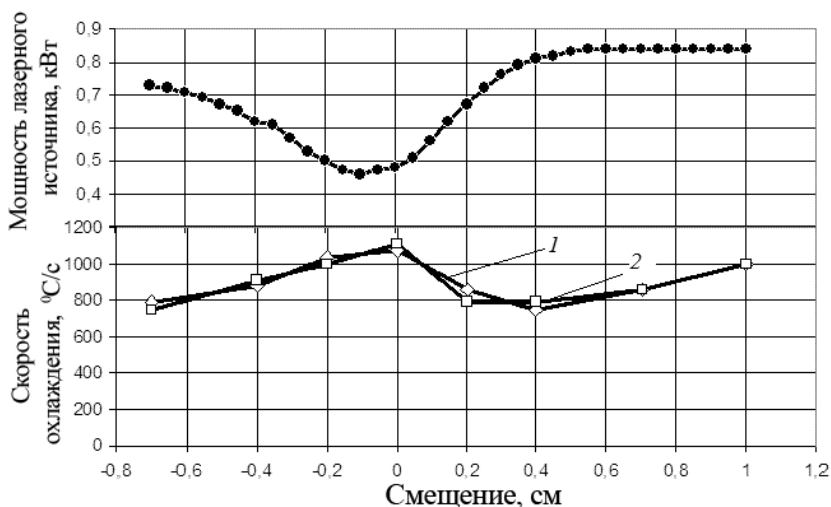


Рис. 4. Сопоставление мощности лазерного излучения, необходимой для полного проплавления, и скорости охлаждения металла шва при различных взаимных положениях источников теплоты (мощность дополнительного источника 8 кВт):

1, 2 — середина и корень шва соответственно

Смещение дополнительного источника теплоты в сторону, противоположную движению, привело к необходимости увеличения значений мощности лазерного излучения для достижения полного проплавления, при этом структура шва состояла из троосто-бейнита. Образование такой структуры должно повышать пластичность и снижать вероятность образования трещин.

Выводы. 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. Это следует учитывать при выборе режимов гибридной сварки закаливающих сталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки / Под ред. А.Г. Григорьянца. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. — 664 с.
2. Перспективы применения светолазерных технологий / Г.М. Алексеев, Г.А. Туричин и др. // Автоматическая сварка. 2005. №5. — С. 5—11.
3. Макаров Э.Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. — М.: Машиностроение, 1981. — 248 с.

Статья поступила в редакцию 11.09.2012