

Распределение температурных полей при двулучевой сварке кварцевого стекла

Е.Б. ШЕРШНЕВ, Ю.В. НИКИТЮК, С.И. СОКОЛОВ, А.Е. ШЕРШНЕВ

В данной статье приведены результаты компьютерного моделирования процесса двулучевой лазерной сварки кварцевого стекла. Выполненные расчеты показывают, что учет зависимости теплофизических свойств от температуры приводит к снижению максимальных расчетных значений температуры в 1,7 раза по сравнению с вариантом расчета, не учитывающим данные зависимости. В результате моделирования установлено, что суперпозиционная лазерная двулучевая сварка кварцевого стекла позволяет увеличить глубину проплавления по сравнению с однолучевой и с двулучевой последовательной лазерной сваркой.

Ключевые слова: сварка, кварц, температура, напряжение, теплоемкость, теплопроводность, плотность, коэффициент термического расширения.

The present article gives the results of computer modelling of two-beam laser welding of quartz glass. The calculations show that the dependence of thermal properties on the temperature leads to decreasing of maximum products of temperature in 1.7 times in comparison with the calculation that does not consider the given dependences. In the result of modelling it is established that superimposed laser two-beam welding of quartz glass allows us to increase the depth of profusion in comparison with one-beam and two-beam consecutive laser welding.

Keywords: welding, quartz, temperature, pressure, thermal capacity, heat conductivity, density, factor of thermal expansion.

В основе традиционных методов сварки кварцевого стекла лежит использование газовой горелки, основными недостатками которой являются низкая точность и низкая производительность сварки. Благодаря высокой концентрации энергии в лазерном пучке и высокой точности локализации лазерного излучения лазер позволяет добиться более высокой производительности и точности обработки по сравнению с традиционными методами. Развитие лазерной сварки происходит довольно интенсивно, однако широкое внедрение сварки кварцевых изделий сдерживается существующим уровнем технологических разработок. Известно, что успешное решение внедрения некоторых процессов лазерной сварки реализовано с использованием двулучевых методов обработки. Отметим, что в настоящее время успешно применяются двулучевые схемы сварки металлов [1]. В связи с этим представляется целесообразным проведение исследований аналогичных двулучевых схем в случае лазерной сварки кварцевых стекол. В работе были выполнены расчеты температурных полей для следующих случаев обработки кварцевых стекол с использованием CO₂-лазеров (рисунок 1):

- 1) однолучевая сварка кварцевого стекла;
- 2) двулучевая суперпозиционная сварка кварцевого стекла с использованием лазеров с различной дифракционной расходимостью;
- 3) двулучевая последовательная сварка кварцевого стекла.

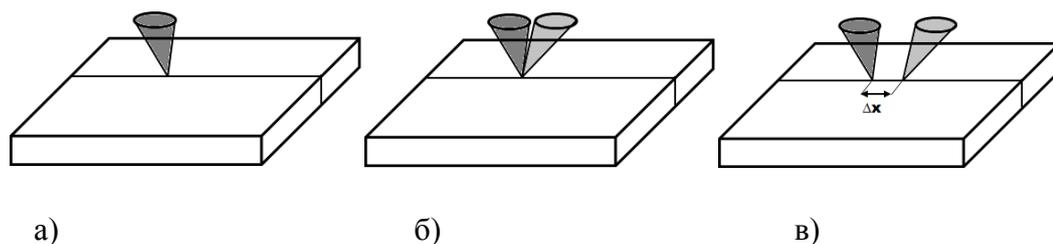


Рисунок 1 – Различные способы лазерной сварки: а) однолучевая сварка;
б) двулучевая суперпозиционная сварка; в) двулучевая последовательная сварка

Для оптимизации процесса дуговой сварки кварцевого стекла необходимо создать математическую модель лазерной сварки, которая бы учитывала зависимость теплофизических свойств материала от температуры в отличие от других моделей [2]. Эти зависимости имеют следующий вид [3], [4]:

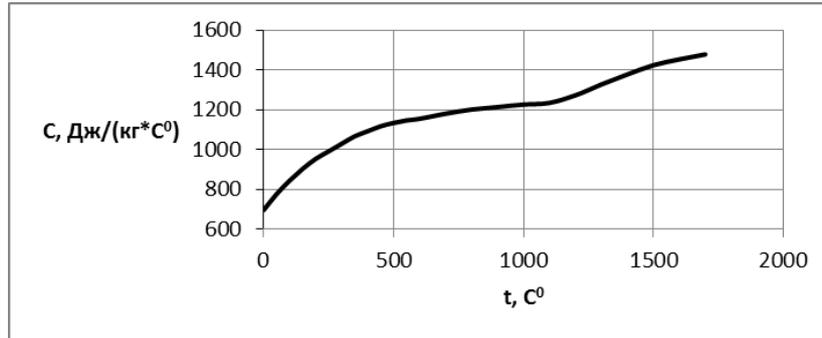


Рисунок 2 – Зависимость теплоемкости кварцевого стекла от температуры

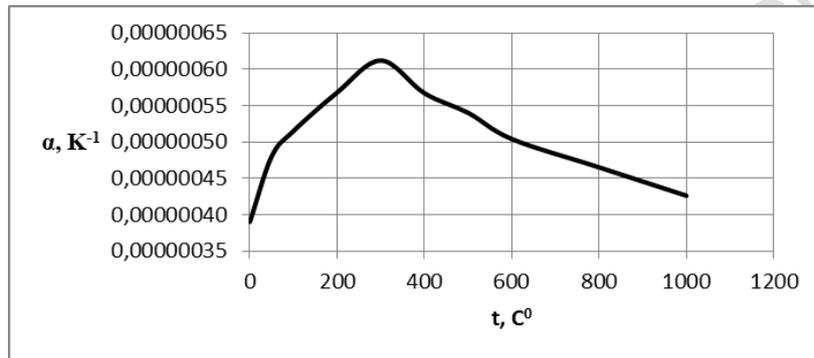


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента линейного термического расширения кварцевого стекла от температуры

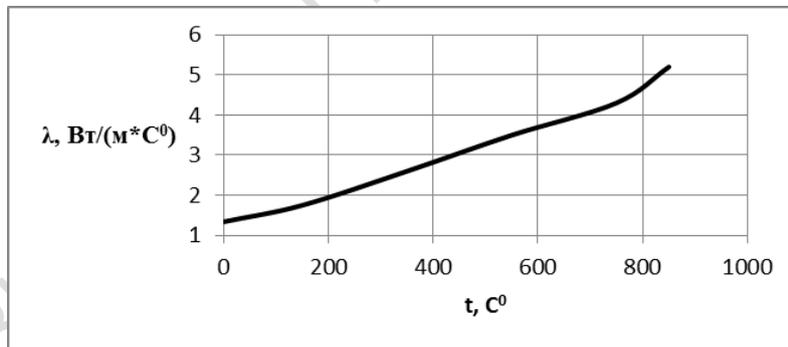


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента теплопроводности кварцевого стекла от температуры

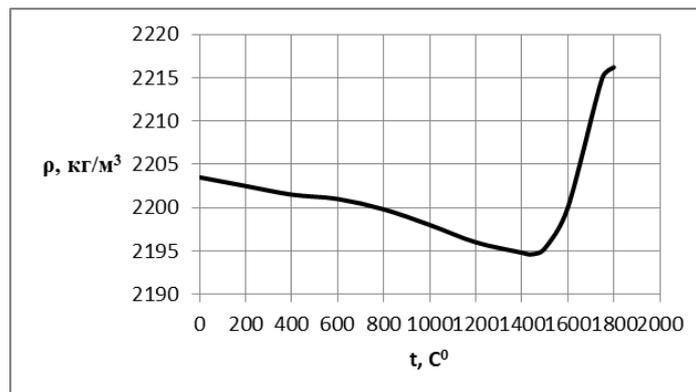


Рисунок 5 – Зависимость плотности кварцевого стекла от температуры

Моделирование процесса лазерной сварки проводилось в среде ANSYS, которая рассчитывает распределение температурных полей с помощью конечно-элементного анализа. Анализировалась глубина проплавления кварцевого стекла, мощность лазерного излучения варьировалась с учетом того, чтобы максимальная температура в зоне сварки не превышала температуру кипения.

Для проверки гипотезы о существенном влиянии теплофизических свойств кварцевого стекла при лазерной сварке и необходимости их учета разработаны две математические модели. Они отличаются тем, что в одной учитывается зависимость теплофизических свойств от температуры, а в другой нет.

Анализ результатов показывает, что учет зависимости теплофизических свойств приводит к уменьшению максимальной расчетной температуры в зоне сварки в 1,7 раза (рисунок 6).

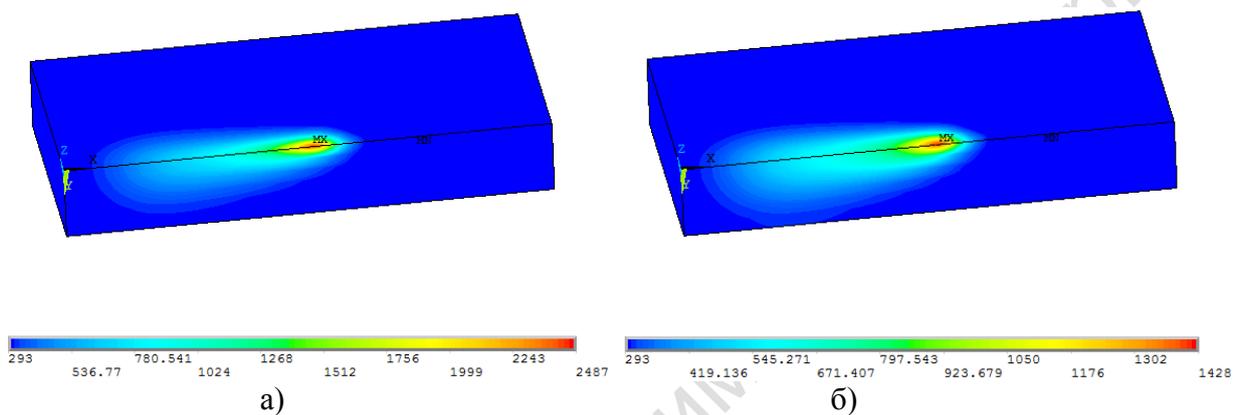


Рисунок 6 – Распределение температуры при однолучевой лазерной сварке кварцевого стекла: а) без учета зависимости теплофизических свойств кварцевого стекла от температуры; б) с учетом зависимости теплофизических свойств кварцевого стекла от температуры

Таким образом, для проведения расчетов температурных полей, возникающих при лазерной сварке кварцевого стекла, принципиально необходимо учитывать зависимость теплофизических свойств материала от температуры.

Было проведено моделирование двухлучевой суперпозиционной лазерной сварки кварцевого стекла, в которой использовалось 2 луча с различной дифракционной расходимостью. У лазеров большой мощности обычно высокая расходимость луча, поэтому, чтобы улучшить распределение мощности в сечении пучка, можно использовать 2 менее мощных лазера, но с меньшей расходимостью луча [1]. В случае однолучевой лазерной сварки использовался лазер мощностью 300 Вт, а при суперпозиционной сварке – 2 лазера мощностью по 150 Вт. Распределение температуры по глубине в кварцевом стекле при однолучевой и двухлучевой суперпозиционной сварке представлено на рисунке 7.

Как видно из рисунка, использование двух лазеров меньшей мощности, но с лучшими характеристиками луча позволило увеличить глубину проплавления с 0,2 мм до 0,25 мм.

Одним из недостатков лазерной сварки металлов при больших скоростях является гидродинамическая неустойчивость жидкой фазы поверхности ванны расплава, приводящая к образованию неровностей [1]. Для уменьшения негативных последствий большой скорости сварки металлов используют последовательную двухлучевую лазерную сварку с помощью двух лазеров различной мощности. Было проведено моделирование последовательной двухлучевой лазерной сварки для кварцевого стекла. Общая мощность двух лазеров составила 300 Вт. Мощность лазера при однолучевой сварке составила также 300 Вт. Результаты моделирования представлены на рисунке 8 и рисунке 9.

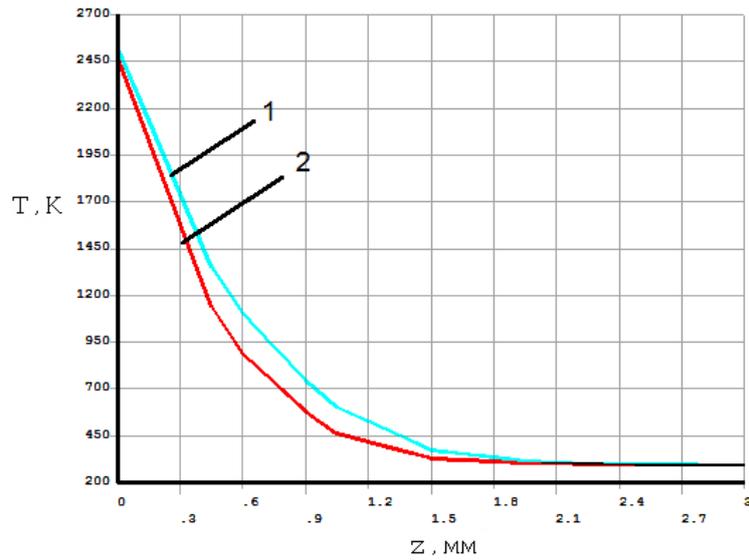


Рисунок 7 – Распределение температуры по глубине в зоне сварного шва при:
1) двулучевой суперпозиционной сварке; 2) при однолучевой лазерной сварке

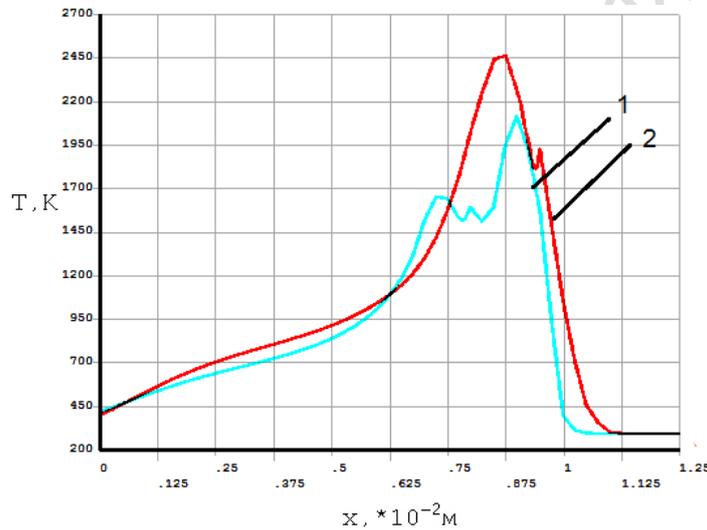


Рисунок 8 – Распределение температуры вдоль линии сварки при:
1) двулучевой последовательной сварке; 2) при однолучевой лазерной сварке

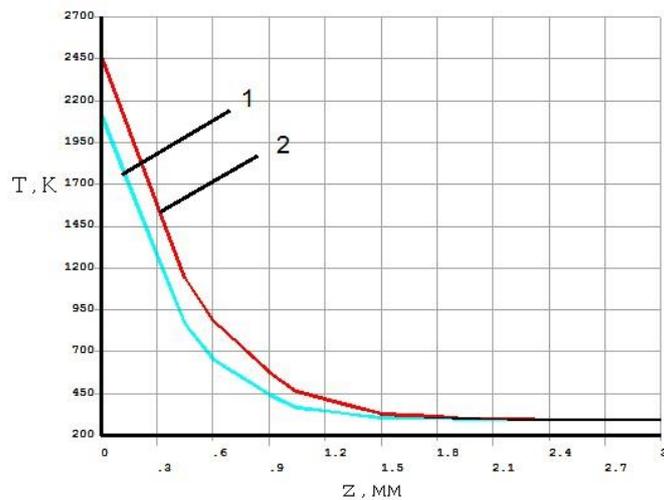


Рисунок 9 – Распределение температуры по глубине при:
1) двулучевой последовательной сварке; 2) при однолучевой лазерной сварке

Как видно из рисунка 8, последовательная двухлучевая лазерная сварка позволяет замедлить спад температуры при остывании, однако кварцевое стекло обладает высокой вязкостью даже при высоких температурах, поэтому жидкая фаза ванны расплава шва, испытывающая гидродинамическую неустойчивость, характерная для металлов, для кварцевого стекла не образуется. Кроме того, анализ рисунка 9 показывает, что при последовательной двухлучевой сварке уменьшается глубина проплавления, поэтому использование последовательной двухлучевой лазерной сварки не целесообразно в случае обработки кварцевого стекла.

Из анализа полученных результатов следует, что учет зависимости теплофизических свойств кварцевого стекла от температуры (плотность, теплопроводность, теплоемкость, коэффициент линейного термического расширения) принципиально важен для расчета технологических режимов лазерной сварки. Также в результате моделирования установлено, что двухлучевая суперпозиционная сварка позволяет увеличить глубину проплавления до 25% по сравнению с традиционной однолучевой сваркой.

Литература

1. Григорьянц, А.Г. Гибридные технологии лазерной сварки : уч. пособие / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.М. Чирков. – М. : изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 52 с.
2. Борисовский, В.Е. Развитие теории и разработка комплекса технологий и оборудования для лазерной обработки кварцевого стекла : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.11.14 / В.Е. Борисовский В.Е. ; Моск. гос. унив. приб. и инф. – М., 2011. – 38 с.
3. Глаголев, С.П. Кварцевое стекло. Его свойства, производство и применение / С.П. Глаголев. – М. : ОНТИ, 1934. – 214 с.
4. Павлов, В.П. Стеклянная аппаратура для производства чистых веществ / В.П. Павлов, М.П. Макевнин. – М. : Машиностроение, 1972. – 332 с.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 19.10.12