

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ РЕЗКИ И СВАРКИ

*Измаилова Г.М., Дмитриев А.С., Юнусов Ф.С.*

*Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова,  
г.Симферополь*

**Ключевые слова:** моделирование, проплавляющая способность, эффективность.

**Аннотация.** На модельных образцах из оптически прозрачного материала-ситалла исследован механизм проплавления материалов лазерным лучом. Установлено, что площадь стыка, соединяемого в единицу времени, при заданной мощности не зависит от скорости обработки и является показателем эффективности технологического процесса и технологического комплекса в целом. Показатель удельной энергии сварки или резки, равный отношению мощности к площади стыка или реза, рекомендуется нами для оценки эффективности работы технологических комплексов резки и сварки.

## EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF CUTTING AND WELDING TECHNOLOGICAL COMPLEXES

*Izmailova G. M., Dmitriev A.S., Yunusov F.S.*

*Crimean engineering and pedagogical University named after Fevzi Yakubov,  
Simferopol*

**Keywords:** laser, modeling, melting ability, efficiency.

**Abstract.** The mechanism of laser beam penetration of materials was studied on model samples made of optically transparent material-Sitall. It is established that the area of the joint, connected in a unit of time, at a given power does not depend on the welding speed and is an indicator of the efficiency of the technological process and the technological system as a whole. The index of specific welding energy equal to the ratio of the laser radiation power to the joint area is recommended by us for comparison of the penetration capacity of laser installations.

**Постановка проблемы.** Технологический комплекс резки и сварки состоит из большого количества элементов и аппаратуры, характеристики которых влияют на эффективность и качество обработки. Лазерная установка, например, представляет собой черный ящик. На входе ящика электроэнергия, на выходе – лазерное излучение с физическими характеристиками: монохроматичность, когерентность, длина (частота) электромагнитной волны, поляризация, модовый состав, расходимость и выходная мощность излучения.

Характеристики излучения зависят от типа генерирующего вещества, конструкции лазерной установки, степени разрушения генерирующего вещества, характеристики и степени отравления газов (если таковые используются), характеристик оптики и настройки лазерной установки.

Технологические характеристики лазерного излучения – длина волны и плотность мощности зависят от физических характеристик излучения и характеристик элементов оптической системы: материала, фокусного расстояния линзы, юстировки, т.е. настройки оптической системы, старения (прозрачности)

оптики, её засаливания в процессе работы и даже внешних помех, например случайных механических вибраций, приводящих к сбою юстировки.

Как видим, эффективность и качество обработки лазерным лучом зависят от большого количества, в том числе случайных, факторов. Зачастую, технологический результат, полученный на одной установке, не всегда удаётся воспроизвести на другой установке такого же типа или с течением времени на той же установке.

Учет этих характеристик и факторов связан со значительными экспериментальными и техническими трудностями, особенно в производственных условиях. Поэтому для оценки эффективности работы технологических комплексов и воспроизведения технологического процесса на установках различного типа необходимо ввести параметр, характеризующий проплавливающую способность, эффективность работы установок.

### **Анализ литературы**

Основная задача любого из сварочных процессов - получение определенной площади качественно соединенных материалов. Поэтому для сравнения различных способов сварки и резки целесообразно применять удельные показатели эффективности, отнесенные к единице площади. Подсчет удельных затрат энергии, труда или средств на единицу площади получаемого соединения дает возможность получить универсальные количественные критерии эффективности любого способа соединения [1].

Для оценки тепловой эффективности процесса или сравнения различных способов сварки теоретические основы сварки рекомендует использовать показатель удельных затрат энергии на единицу площади соединяемой поверхности [2].

Эффективность процессов сварки плавлением оценивают обычно такими показателями, как эффективный и термический КПД, коэффициенты расплавления и наплавки и т.п. Источники сварочного нагрева характеризуют обычно удельным тепловым потоком в пятне нагрева и коэффициентом сосредоточенности. Оценивают также удельные затраты на 1 м длины шва или на 1 кг наплавленного металла [3-5].

Эти показатели обычно используются в лабораторных условиях и не очень удобны для применения на производстве.

На практике для оценки проплавливающей способности лазерных установок используют глубину проплавления при максимальной мощности, что крайне неудобно ввиду зависимости глубины проплавления от большого количества факторов и в том числе скорости сварки.

**Цель работы:** установить эмпирический показатель проплавливающей способности установок и эффективности работы технологического комплекса в целом.

### **Изложение основного материала**

В данной работе приводятся исследования механизма проплавления материалов лазерным лучом. При проведении экспериментов в качестве источника лазерного излучения использовался быстропроточный газоразрядный СО<sub>2</sub>-лазер ЛТ1-2. Фокусировка излучения осуществлялась соляной линзой из

КС1. Эксперименты проводились на специальном оптически прозрачном материале разновидности ситалла, на 80% состоящим из кристаллической фазы ( $T_{пл}=1600^{\circ}\text{C}$ ;  $\lambda=2,09 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ ).

Как показали исследования, плавление, массоперенос и кристаллизация в нем протекают также как в металлах. [6]. Кинетика процессов проплавления фиксировалась скоростной кинокамерой Pentazet-16; разрешающая способность во времени составляла  $3,3\cdot 10^{-4}$  с.

Для обработки видеоматериалов использовалась компьютерная программа Sony Vegas Pro 13.0. Sony Vegas – профессиональная программа для многодорожечной записи, редактирования, монтажа видео и аудио потоков.

Моделированием процесса лазерной обработки на оптическом ситалле был исследован механизм плавления материала. Установлено, что скорость проплавления в зависимости от плотности мощности лазерного излучения, достигает значения в несколько тысяч мм/с и не зависит от скорости сварки. Глубина проплавления определяется продолжительностью воздействия лазерным лучом на материал и, следовательно, обратно пропорциональна скорости сварки.

С точностью достаточной для практического применения произведение глубины проплавления на скорость сварки –  $H\cdot V_{св}$  остается постоянным в диапазоне скоростей наиболее применяемых при лазерной сварке. Эта величина рекомендуется нами для оперативного определения глубины проплавления при варьировании скоростей сварки.

Вместе с тем произведение  $H\cdot V_{св}$  соответствует площади стыка соединяемого в единицу времени

$$S_{ст} = HxV_{св}, \quad (1)$$

где  $H$  – глубина проплавления в мм,  $V_{св}$  – скорость сварки в мм/с.

Следовательно, площадь стыка  $HxV_{св}$  соединяемого в единицу времени при лазерной сварке зависит от плотности мощности излучения на поверхности образца и не зависит от скорости сварки. При изменении скорости сварки значение площади остается неизменным, изменяется форма стыка (рис. 1).

Удельные затраты энергии для лазерной сварки определяются по формуле :

$$\epsilon_{св} = \frac{P}{H \cdot V_{св}} (\text{Дж}/\text{мм}^2), \quad (2)$$

где  $P_{вых}$  – выходная мощность лазерной установки в Вт;  $V_{св}$  – скорость сварки в мм/с;  $H$  – глубина проплавления в мм [1].

Величина удельных затрат энергии, обратно пропорциональная площади стыка и при неизменной мощности также остается постоянной величиной, что подтверждается нашими экспериментами. Величина  $\epsilon_{св}$  характеризует проплавляющую способность лазерной установки с присущими ей характеристиками излучения (длиной волны, модовым составом, поляризацией и т.д.), оптического тракта и фокусирующей оптики. Следовательно показатель удельных затрат энергии на единицу соединяемой площади целесообразно использовать для оценки и сравнения проплавляющей способности лазерных установок.

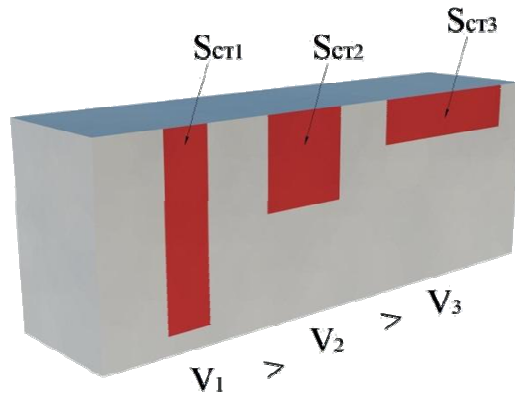


Рис. 1. Форма площади стыка в зависимости от скорости обработки

На (рис. 2) представлены зависимости глубины проплавления от скорости сварки для двух материалов, определенные по предложенной методике и полученные в результате эксперимента на установке ЛСУ – 5. Наблюдается достаточно хорошая сходимость результатов на скоростях наиболее характерных для лазерной сварки (25-60 мм/с).

В таблице 1 представлены значения удельных затрат энергии при лазерной сварке для различных лазерных установок и материалов с отличными теплофизическими свойствами.

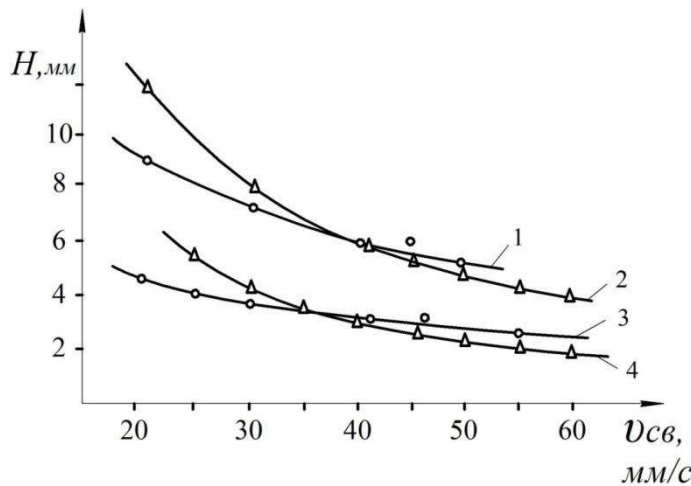


Рис. 2. Зависимость глубины проплавления от скорости сварки : 1, 2 – ситалл (P= 3,5кВт; Δf = -I мм); 3,4 – титан(P=4 кВт, Δf -I мм); 1,3 – экспериментальная; 2,4 – расчетная зависимости

Табл. 1. Удельные затраты количества энергии

Материал	Расходимость лазерного излучения - γ миллирадиан	Мощность – P, Квт	Удельная энергия сварки - ε <sub>св</sub> , Дж/мм <sup>2</sup>
Титан	1	3,0	12
Титан	3	3,0	23
Титан	3	3,0	30
Ситалл	3	3,0	23
Ситалл	3	3,5	15
н/у сталь	3	2,8	32
Алюминий	3	3,4	33
Медь	3	3,0	70

При увеличении мощности излучения величина  $\varepsilon$  снижается, при отклонении положения фокальной плоскости от оптимального (-1 мм) - увеличивается. Следовательно, оптимизация значения этого показателя может быть использована при выборе режимов сварки для повышения эффективности процесса обработки и отладки технологического комплекса в целом. Этот же показатель нами использовался и при термической резке материалов.

### Выводы

1. Физическим моделированием процесса лазерной обработки на оптически прозрачном ситалле, имеющим кристаллическую структуру, исследован механизм плавления материала.

2. Установлено, что при увеличении скорости обработки, скорость проплавления практически не изменяется; уменьшение глубины проплавления происходит за счет сокращения времени воздействия луча на материал.

3. Площадь стыка  $H \times V_{cv}$  соединяемого в единицу времени при лазерной сварке зависит от плотности мощности излучения на поверхности образца и не зависит от скорости сварки. При изменении скорости сварки значение площади остается неизменным, изменяется форма стыка.

4. Площадь стыка соединяемого в единицу времени является показателем эффективности технологического процесса и технологической системы в целом.

5. Показатель удельной энергии сварки  $\varepsilon_{cv} = \frac{P}{H \cdot V_{cv}}$ , зависящий от площади стыка является показателем проплавляющей способности установок и рекомендуется нами для оптимизации режимов, оценки и повышения эффективности работы технологического комплекса в целом.

### Список литературы

1. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т. – М.: Машиностроение, 1978-1979. – Т. 1: Сварка в машиностроении / Под ред. Н.А. Ольшанского, 1978. – 501 с.
2. Теоретические основы сварки: Учебное пособие / Под ред. В.В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1970. – 592 с.
3. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. акад. Б.Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.
4. Григорьянц А.Г. Лазерная техника и технология. В 7 кн. Кн. 5: Лазерная сварка металлов / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов. – М.: Высшая школа, 1988. – 207 с.
5. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник/ Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, И.В. Зуев, А.Н. Кокора. – М.:Машиностроение, 1985. – 496с.
6. Измаилова Г.М. Кинетика плавления материала лазерным лучом / Г.М. Измаилова, У.А. Абдулгасис, Ш.С. Джапаров // Ученые записки КГИПУ. Вып. 20. Технические науки. – Симферополь: НИЦ КИПУ, 2009. – С.56-59.

### Сведения об авторах:

*Измаилова Гульнар Мустафаевна* – к.т.н., доцент, доцент, КИПУ, г.Симферополь;

*Юнусов Февзи Сеитмаматович* – магистрант, КИПУ, г.Симферополь;

*Дмитриев Алексей Сергеевич* – магистрант, КИПУ, г.Симферополь.