

## Влияние энергетических и оптических факторов на качество лазерной резки конструкционной стали марки СтЗсп

*Д.В. Малий, П.Н. Медведев*

*Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого, Тула*

**Аннотация:** Статья посвящена исследованию влияния энергетических и оптических факторов на качество лазерной резки толстолистового металла. Описаны преимущества использования лазерной резки в производстве, определены дальнейшие направления развития лазерной техники. Представлен анализ российских и зарубежных научных исследований и выделены показатели, влияющие на качество изготовления деталей лазерной резкой. Представлены результаты экспериментального исследования влияния энергетических и оптических факторов и нахождения зависимостей с целью определения оптимальных технологических режимов для получения высокого качества реза. Проведенные исследования и эксперименты позволили определить оптимальные соотношения диаметра фокального пятна и длины перетяжки при использовании объективов с фокусными расстояниями 200, 250 и 300 мм. Также, на основе полученных данных, авторами были сформулированы технические требования для разработки модели лазерной оптической головки.

**Ключевые слова:** лазерная резка, мощность излучения, оптический фактор, параметры, лазерная головка, экспериментальное исследование.

В настоящее время технология лазерной резки металла позволяет получить узкие резы высокого качества при минимальной зоне термического влияния, что способствует сохранению физико-химических свойств обрабатываемого материала. Вследствие технологических особенностей, лазерный раскрой является наиболее высокоточным и высокопроизводительным методом резки [1, с. 432]. Эффективным является использование технологии лазерной резки в опытном производстве или на стадии разработки новых изделий, когда особенно важно сократить время разработки изделий. Таким образом, наиболее актуальными направлениями развития лазерной техники становятся повышение ее эффективности и повышение качества реза [2, с. 5].

Анализ российских и зарубежных научных исследований, посвященных параметрам лазерной резки, показал, что до сих пор не существует достаточно надежных методов прогнозирования результатов

резки [3 – 6]. Это объясняется не только сложностью процессов, происходящих при резке, но и большим количеством факторов, не связанных с режимами обработки, но существенно влияющих на конечный результат. Исследователи определяют следующие показатели, влияющие на качество изготовления деталей лазерной резкой: шероховатость, точность, длина зоны термического воздействия, ширина реза, отставание линии реза, радиус оплавления верхней кромки и другие [7]. Данные показатели в целом обусловлены энергетическими и оптическими параметрами установки, режимами обработки и параметрами заготовки.

Целью данной работы являлось исследование влияния энергетических и оптических факторов на качество лазерной резки толстолистового металла. Полученные характеристики использовали для нахождения зависимостей с целью определения оптимальных технологических режимов для получения высокого качества реза [8, 9]. Также в работе исследовали влияние различных оптических характеристик для разработки модели лазерной оптической головки. Работа велась в несколько этапов.

Основной исследовательской задачей на первом этапе является описание выбора оптимальных технологических режимов для получения качественного реза стальных листов с шероховатостью кромки  $R_z < 80$  мкм. В ходе работы было исследовано влияние следующих параметров на качество кромки реза:

- мощность лазера, кВт;
- диаметр фокального пятна, мкм;
- длина перетяжки, мм;
- положение фокального пятна относительно поверхности заготовки;
- фокусное расстояние коллиматора;
- фокусное расстояние объектива.

Опытнo-экспериментальным путем построена зависимость увеличения мощности излучения лазера при увеличении толщины разрезаемой заготовки [10]. В качестве образца марки стали использовалась низкоуглеродистая конструкционная сталь Ст3сп. Построенная зависимость позволяет с большой долей вероятности определять необходимую мощность лазерного источника для решения технологических задач резки стали различных толщин. Это особенно важно при формировании технического задания на поставку лазерного оборудования с точки зрения экономической эффективности последующей работы.

Диаметр фокального пятна и длина перетяжки излучения – это те параметры, которыми оперирует технолог при резке различных марок и толщин заготовок. Чем длиннее перетяжка, тем большие толщины стали это позволит разрезать с минимальным отклонением от геометрической перпендикулярности луча к заготовке. Но увеличение длины перетяжки, как правило, ведет к увеличению диаметра фокального пятна, что автоматически снижает плотность мощности, необходимую для прорезания стальных заготовок толщиной свыше 10 мм. Поэтому вместо качественной лазерной резки получается рез с низким качеством кромки  $R_z \geq 100$  мкм.

Проведенные исследования и эксперименты позволили составить таблицу оптической эффективности (табл. 1) для нахождения оптимальных соотношений диаметра фокального пятна и длины перетяжки при использовании объективов с фокусными расстояниями 200, 250 и 300 мм.

Проведенные технологические эксперименты по резке стальных листов толщиной 8...20 мм на двух типах объективах  $f$  300 и  $f$  400 и коллиматоре  $f$  100 показали, что на толщинах стали от 10 до 16 мм и мощности лазерного источника 1,3–1,5 кВт принципиальной разницы в качестве кромок не отмечено. На толщинах же от 16 до 20 мм при той же мощности лазерного источника отмечена тенденция по ухудшению качества реза на объективе

---

$f$  400 в нижней зоне кромки, что свидетельствует о недостаточной плотности мощности в фокальном пятне, хотя наибольшая длина перетяжки обеспечена именно в соотношении фокусов коллиматора и объектива  $f$  100 /  $f$  400. Оптимальный результат был достигнут при применении соотношения фокуса объектива  $f_o$  к фокусу коллиматора  $f_k$ , равного трём. Это же соотношение является оптимальным для отношения положения фокального пятна на поверхности обрабатываемого металла  $h_\phi$  к диаметру сопла оптической головки  $d_c$ .

Таблица № 1

Параметры лазерной резки

Наименование параметра	Номер образца				
	1	2	3	4	5
Толщина металла, мм	6	8	10	12	14
Диаметр сопла, мм	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0
Фокус объектива, мм	200	200	250	250	300
Фокус коллиматора, мм	85	85	100	100	100
Положение фокального пятна, мм	4	4	5	5	6
Мощность лазера, кВт	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
Шероховатость реза $R_z$ , мкм	20	40	40	60	80

На основе полученных результатов были сформулированы технические требования для разработки модели лазерной оптической головки: отношение фокуса объектива  $f_o$  к фокусу коллиматора  $f_k$  равно отношению положения фокального пятна на поверхности обрабатываемого металла  $h_\phi$  к диаметру сопла оптической головки  $d_c$  и равно 3. На рисунке 1 приведена модель разработанной оптической лазерной головки:

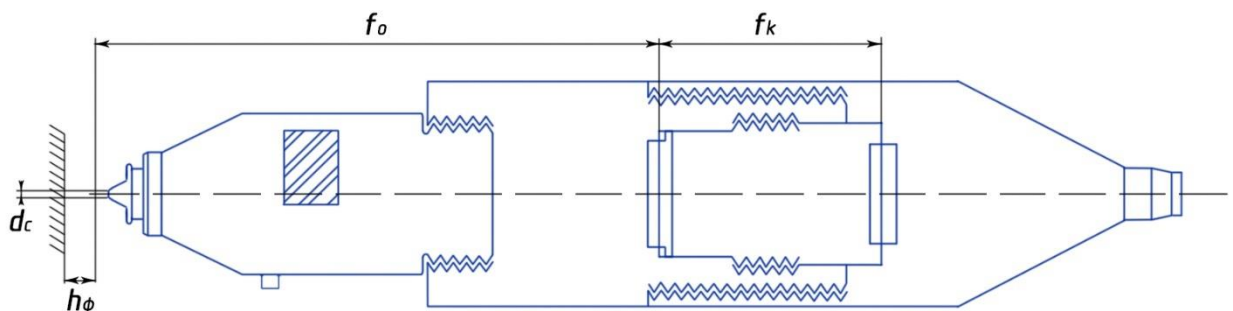


Рис. 1. – Лазерная оптическая головка (модель)

В заключение стоит отметить, что лазерная резка представляет собой сложный процесс, на который влияет большое количество факторов. Поэтому только тщательное изучение и правильный сбор всех параметров процесса позволяют получить детали требуемого качества с оптимальными эксплуатационными характеристиками. Проведённое нами исследование влияния оптических факторов и их взаимосвязи с параметрами лазерного излучения позволило разработать требования к принципиальной модели лазерной оптической головки для обеспечения улучшения качества лазерной обработки толстолистового металла.

### Литература

1. Минаев И.В., Сергеев А.Н., Кубанова А.Н., Добровольский Н.М., Гвоздев А.Е., Кутепов С.Н., Малий Д.В. История развития лазера и особенности его применения // Чебышевский сборник, 2019. Т. 20. № 4 (72). С. 387-402. DOI: 10.22405/2226-8383-2019-20-4-387-402.
2. Yudaeva A.A., Zhuravleva T.A. Factors affecting the accuracy of laser cutting parts // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2021. № 24. pp. 5-9. DOI: 10.26160/2474-5901-2021-24-5-9.
3. Arif, A.F.M., Yilbas B.S., Aleem B.J.A. Laser cutting of thick sheet metals: Residual stress analysis // Optics and Laser Technology, 2009. № 41 (3). pp. 224-232. DOI: 10.1016/j.optlastec.2008.07.006.
4. Gavariev R. V., Savin I. A. Improvement of Surface Quality of Casting Produced by Casting under Pressure// Diffusion and Defect Data Pt.B: Solid State Phenomena, 2017. Vol. 265. pp. 988-993. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.265.988.
5. Мерч Д.В., Рябикина Т.В., Старостина О.Н. Исследование влияния параметров лазерной резки толстолистовых материалов на качество поверхности // VII Всероссийская научно-практическая конференция «Социально-экономические и технические проблемы оборонно-

промышленного комплекса России: история, реальность, инновации». Арзамас: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2021. С. 267-272.

6. Сорокин А.С., Вяликов И.Л., Вериженко В.Б., Коваль Н.С. Сравнительный анализ влияния параметров лазерной резки на качество резания // Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция «Актуальные проблемы науки и техники. 2021». Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2021. С. 723-724.

7. Малий Д.В., Медведев П.Н. Влияние шероховатости и теплопроводности обрабатываемой стали на выбор параметров газолазерной резки // Инженерный вестник Дона, 2022. № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7510](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7510).

8. Минаев И.В., Сергеев А.Н., Малий Д.В., Гвоздев А.Е., Медведев П.Н. Математический цифровой программный технологический комплекс для изготовления детали «Проушина» из углеродистой полуспокойной стали марки СтЗпс методом лазерной резки // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022613913 от 15.03.2022.

9. Proskuryakov N.A., Putilova U.S., Mamadaliev R.A., Teplouhov O.Yu. Analysis of the dependence of the quality of the connection by means of manual and automatic welding of aluminum alloy AD33 // Инженерный вестник Дона, 2020. № 10. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6618](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6618).

10. Маркин Е.П., Лозовский А.К., Смирнов С.Н., Яхонтов Ю.Г. Опыт промышленного применения лазерных технологических комплексов на базе генераторов // Известия вузов. Приборостроение, 2011. Т.54. № 2. С. 13-16.

### References

1. Minaev I.V., Sergeev A.N., Kubanova A.N., Dobrovolskij N.M., Gvozdev A.E., Kutepov S.N., Maliy D.V. Chebyshevskij sbornik, 2019. Vol. 20. № 4 (72). pp. 387-402. DOI: 10.22405/2226-8383-2019-20-4-387-402.

2. Yudaeva A.A., Zhuravleva T.A. Journal of Advanced Research in Technical Science. 2021. № 24. pp. 5-9. DOI: 10.26160/2474-5901-2021-24-5-9.
  3. Arif, A.F.M., Yilbas B.S., Aleem B.J.A. Optics and Laser Technology, 2009. № 41 (3). pp. 224-232. DOI: 10.1016/j.optlastec.2008.07.006.
  4. Gavariyev R. V., Savin I. A. Diffusion and Defect Data Pt.B: Solid State Phenomena, 2017. Vol. 265. pp. 988-993. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.265.988.
  5. Merch D.V., Ryabikina T.V., Starostina O.N. VII Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Social'no-ekonomicheskie i tekhnicheskie problemy oboronno-promyshlennogo kompleksa Rossii: istoriya, real'nost', innovacii. Arzamas: NGTU im. R.E. Alekseeva, 2021. pp. 267-272.
  6. Sorokin A.S., Vyalikov I.L., Verizhenko V.B., Koval' N.S. Vserossiyskaya (nacional'naya) nauchno-prakticheskaya konferenciya “Aktual'nye problemy nauki i tekhniki. 2021”. Rostov-na-Donu: Donskoj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2021. pp. 723-724.
  7. Malij D.V., Medvedev P.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022. № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7510](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7510).
  8. Minaev I.V., Sergeev A.N., Malij D.V., Gvozdev A.E., Medvedev P.N. Matematicheskij cifrovoy programmnyj tekhnologicheskij kompleks dlya izgotovleniya detali “Proushina” iz ughlerodistoj poluspokojnoj stali marki St3ps metodom lazernoj rezki [Mathematical digital software technological complex for the manufacture of the "Eyelet" part from carbon semi-quiet steel of the St3ps brand by laser cutting]. Svidetel'stvo o registracii programmy dlya EVM №2022613913 ot 15.03.2022.
  9. Proskuryakov, N.A., Putilova, U.S., Mamadaliev, R.A., Teplouhov, O.Yu. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020. №10. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6618](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6618).
-



10. Markin E.P., Lozovskij A.K., Smirnov S.N., YAhontov YU.G. Izvestiya vuzov. Priborostroenie, 2011. Vol.54. № 2. pp. 13-16.