

ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ: АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ СТАЛИ 12X18H10T

Н. Ю. Капалин✉, О. О. Бердников, Д. С. Реченко

Омский государственный технический университет,
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

✉ kapanick@mail.ru

В статье рассмотрены физические основы процессов лазерной обработки металлов, включая особенности взаимодействия лазерного излучения с материалом, механизмы поглощения энергии и закономерности теплового воздействия в зоне обработки. Целью исследования является определение рациональных режимов лазерной обработки нержавеющей стали 12X18H10T, обеспечивающих минимизацию зоны термического влияния и повышение качества обработанной поверхности.

Проведен анализ процессов плавления, испарения и формирования зоны термического влияния при лазерной резке металлических материалов. Представлен обзор основных типов промышленных лазеров, применяемых в современных технологиях лазерной обработки, включая газовые, твердотельные и волоконные лазерные источники, а также рассмотрены их технологические особенности, преимущества и области применения. Особое внимание уделено влиянию режимов обработки на качество поверхности и размеры изменённого слоя. Рассмотрены свойства и функции технологических газов, используемых при лазерной резке и наплавке металлов, а также их влияние на эффективность удаления расплава и снижение термических дефектов.

В экспериментальной части выполнены исследования лазерной резки стали 12X18H10T толщиной 0,8 мм на установке DMG MORI Lasertec 20 при варьировании мощности лазерного излучения. Проведен анализ структуры изменённого слоя и характера теплового воздействия на материал. Установлены оптимальные параметры обработки, обеспечивающие минимальную толщину зоны термического влияния и стабильное формирование реза. Полученные результаты подтверждают высокую эффективность применения лазерных технологий при обработке нержавеющей сталей и возможность их использования для высокоточного изготовления тонколистовых конструкций авиационного и машиностроительного назначения.

Ключевые слова: лазерная обработка, физика процесса, зона термического влияния, технологические газы, сталь 12X18H10T, эксперимент

Для цитирования: Капалин Н. Ю., Бердников О. О., Реченко Д. С. Физика и технология лазерной обработки металлов: анализ режимов обработки стали 12X18H10T. *Омский научный вестник*. 2026. № 2 (198). С. 56–63. <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2026-198-56-63>. EDN: LPWJWU.



© Капалин Н. Ю., Бердников О. О., Реченко Д. С., 2026.
Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

PHYSICS AND TECHNOLOGY OF THE LASER METAL PROCESSING: ANALYSIS OF PROCESSING MODES OF THE 12X18H10T STEEL

N. Yu. Kapalin✉, O. O. Berdnikov, D. S. Rechenko

Omsk State Technical University, Mira Ave., 11, Omsk, 644050, Russia

✉ kapanick@mail.ru

The article discusses the physical foundations of laser metalworking processes, including the features of the interaction of laser radiation with the material, the mechanisms of energy absorption and the patterns of thermal effects in the processing area. The aim of the research is to determine the rational modes of laser treatment of the 12X18H10T steel, minimizing the zone of thermal influence and improving the quality of the treated surface.

The authors conduct the analysis of the processes of melting, evaporation and formation of the thermal influence zone during laser cutting of metal materials. Moreover, the authors present an overview of the main types of industrial lasers used in modern laser processing technologies, including gas, solid-state and fiber laser sources, as well as their technological features, advantages and applications. Special attention is made on the effect of processing modes on the surface quality and the size of the modified layer. The article considers the properties and functions of process gases used in laser cutting and metal plating, as well as their effect on melt removal efficiency and reduction of thermal defects.

The experimental part demonstrates the laser cutting of the 12X18H10T steel with a thickness of 0.8 mm on a DMG MORI Lasertec 20 installation with varying laser radiation power. The article analyses the structure of the modified layer and the nature of the thermal effect on the material and also establishes optimal processing parameters to ensure the minimum thickness of the heat-affected zone and stable cut formation. The results confirm the high efficiency of the laser technologies usage in the processing of stainless steels and the possibility to use them for high-precision manufacturing of thin-sheet structures for aviation and machine-building purposes.

Keywords: laser processing, process physics, thermal influence zone, process gases, 12X18H10T steel, experiment

For citation: Kapalin N. Yu., Berdnikov O. O., Rechenko D. S. Physics and technology of the laser metal processing: Analysis of processing modes of the 12X18H10T steel. *Omsk Scientific Bulletin*. 2026;2(198):56–63. <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2026-198-56-63>. EDN: LPWJWU. (In Russ.).



© Kapalin N. Yu., Berdnikov O. O., Rechenko D. S., 2026.
The content is available under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Введение

Современные технологии обработки металлов стремительно развиваются в направлении повышения точности, скорости и качества готовых изделий. Среди инновационных методов особое место занимает лазерная обработка, основанная на использовании сфокусированного пучка когерентного излучения высокой плотности энергии [1, 2]. Благодаря уникальному сочетанию термического и оптического воздействия, лазерные технологии позволяют осуществлять резку, сварку, термообработку, легирование и поверхностное упрочнение материалов с минимальными искажениями структуры и геометрии изделия [3, 4].

Физика процесса лазерной обработки основана на поглощении электромагнитного излучения материалом и преобразовании световой энергии в тепловую. При этом в зависимости от параметров излучения — длины волны, плотности мощности, длительности импульса и скорости сканирования — могут реализовываться различные режимы взаимодействия: плавление, испарение, термическое упрочнение или структурная модификация поверхности [5, 6].

Существенное влияние на эффективность лазерного воздействия оказывают тип лазера и параметры обработки, а также вид технологического газа, обеспечивающего защиту зоны обработки и удаление продуктов плавления [7]. Современные установки для лазерной обработки позволяют точно регулировать эти параметры, что делает возможной адаптацию технологии под конкретные свойства материала.

Особый интерес представляет применение лазерных технологий для обработки нержавеющей стали, таких как сталь 12X18H10T. Исследование особенностей взаимодействия лазерного излучения

с данной сталью позволяет оптимизировать режимы обработки, улучшить механические характеристики и повысить долговечность изделий [8].

Физика процесса лазерной обработки

Главная особенность, определяющая работу лазерного излучения, — это локальное воздействие теплового источника на материал и высокие скорости его нагрева и охлаждения. Лазерная термообработка, сварка и резка осуществляются соответственно при средней мощности излучения более 1 кВт; более 2 кВт и в диапазоне 0,5...5,0 кВт. При этом существуют и другие параметры, характеризующие излучение, такие как угловая расходимость, длина передачи излучения, допустимая нестабильность полной мощности и угловой расходимости, поляризация излучения и т. д. [9].

Требуемый результат и свойства поверхности при лазерной обработке получают путем создания определенного термического цикла с оптимальными технологическими параметрами: максимальной температурой нагрева; скоростью нагрева и охлаждения; временем выдержки металла при температуре аустенитизации и др. Тепловое состояние металла в процессе обработки является ключевым для прогнозирования геометрии зоны термического воздействия, фазовых и структурных превращений, конечного напряженно-деформированного состояния, в совокупности определяющих свойства поверхностного слоя, поэтому исследование лазерной обработки напрямую связано с методами исследования тепловых процессов¹ [10]. При этом обработка металла лазерным излучением ведется с учетом частичного поглощения излучения, характеризуемого эффективным коэффициентом поглощения $A_{эф}$, определяемого отношением части энергии лазерного излучения, поглощенной металлом в про-

¹ Елисеев А. А. Промышленная резка металла с помощью лазера. Основы и перспективы развития // Молодежь и системная модернизация страны: сборник научных статей 9-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых. Курск, 2025. С. 335–337. EDN: BBTMCX.

цессе обработки, к общей энергии лазерного излучения [11].

Эффективный коэффициент поглощения $A_{\text{эф}}$, фактически определяющий КПД лазерной обработки, зависит от параметров излучения (длина волны излучения, плотность мощности лазерного излучения, направленность излучения к поверхности, угол сходимости лазерных лучей и т. д.), обрабатываемого материала (физико-механические свойства, структура, химический состав и т. д.), геометрии и формы обрабатываемого изделия, применяемого газа и др. Эффективный коэффициент поглощения $A_{\text{эф}}$ распределяется от 5 до 90 % в зависимости от всех факторов, а фактическое значение определяется экспериментально методом калориметрии. При этом главным фактором является тип лазера. На сегодняшний день в промышленности применяются различные типы лазеров, наиболее распространёнными из которых являются:

1. CO_2 лазеры. Это газовые лазеры, в которых рабочей средой является смесь углекислого газа (CO_2), азота и гелия. Эти лазеры генерируют излучение в инфракрасной области спектра с длиной волны около 10,6 мкм.

2. Волоконные лазеры. Используют оптическое волокно, легированное редкоземельными ионами (например, иттербием), в качестве активной среды. Возбуждение происходит за счет накачки светом от диодов, вводимым в волокно. Излучение усиливается в волокне благодаря эффекту усиления при прохождении через легированную среду [12].

3. Nd:YAG лазеры. Твердотельные лазеры с активной средой из иттриевого алюминат-иттербиевого граната ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$), легированной ионами неодима. Возбуждение Nd:YAG лазера осуществляется с помощью ламп или диодных лазеров, приводя к генерации излучения на длине волны 1,064 мкм. Резонатор усиливает когерентный световой пучок.

4. Дисковый лазер. Разновидность твердотельного лазера, в котором активная среда выполнена в виде тонкого диска, обычно из Yb:YAG. Излучение накачивается через диск, который эффективно охлаждается с обратной стороны. Это позволяет добиваться высокой мощности и хорошего теплоотвода [13].

5. Эксимерные лазеры. Газовые лазеры, использующие возбужденные молекулярные комплексы (эксимерные молекулы) для генерации ультрафиолетового излучения (например, XeCl , KrF). Возбуждение газа происходит посредством электрического разряда, после чего молекулы переходят в возбужденное состояние, которое существует только временно, излучая коротковолновое УФ-излучение [14].

Каждый тип лазера имеет свои уникальные особенности, что определяет его область применения. CO_2 лазеры — лидеры в промышленной резке толстых материалов, волоконные лазеры — в прецизионной обработке, Nd:YAG — универсальные решения для медицины и промышленности, дисковые — мощные компактные источники, а эксимерные — незаменимы в микрообработке и медицине.

Основные этапы и параметры лазерной обработки

Лазерная обработка металлов — сложный физико-технический процесс, основанный на локальном воздействии сфокусированного лазерного излучения высокой плотности мощности на поверхность металла. Рассмотрим основные этапы и параметры,

определяющие характер и эффективность обработки.

1. Поглощение лазерного излучения. Металл частично поглощает энергию лазерного пучка, преобразуя её в тепловую. Эффективный коэффициент поглощения $A_{\text{эф}}$ зависит от материала, длины волны лазера, состояния поверхности. Например, у алюминиевых сплавов коэффициент поглощения ниже, чем у стали, что требует коррекции параметров лазера.

2. Нагрев и фазовые переходы. Поглощённая энергия вызывает рост температуры в зоне обработки. В зависимости от плотности энергии и времени воздействия, металл проходит через следующие фазы:

— *нагрев без фазовых превращений (структурные изменения твёрдой фазы)*. При температурах ниже критических точек фазовых превращений (для сталей ориентировочно до области A_{c1}) происходят процессы восстановления, снятия остаточных напряжений и рекристаллизации ($\sim 400 - 700^\circ\text{C}$ для сталей). На этом этапе изменяется дислокационная структура и размер зерна без плавления и без изменения фазового состава. Такой режим используется при лазерном отпуске, локальной термообработке и стабилизации структуры материала;

— *нагрев с фазовыми превращениями (термическое упрочнение)*. При превышении критических температур фазовых превращений ($A_{c1} - A_{c3}$ для сталей) происходит аустенитизация материала, что является основой лазерной закалки и других видов лазерной термообработки. Последующее высокоскоростное охлаждение приводит к формированию мартенситной или бейнитной структуры и упрочнению поверхностного слоя;

— *плавление*. Температура плавления для различных металлов и сплавов существенно различается: для сталей — около 1450°C , для алюминиевых сплавов — около 660°C , для медных сплавов — в широком диапазоне примерно $950 - 1083^\circ\text{C}$ в зависимости от химического состава (латуни, бронзы и др.). Плавление обеспечивает формирование расплавленной зоны при лазерной резке, сварке и наплавке;

— *испарение (абляция)*. При температурах, значительно превышающих температуру плавления (порядка $3000 - 4000^\circ\text{C}$), происходит удаление материала в виде парообразных продуктов, что характерно для лазерного сверления и микромаркировки.

3. Охлаждение и затвердевание. Быстрое охлаждение (до $10^4 - 10^6$ К/с) приводит к быстрому затвердеванию металла, что уменьшает зоны термического повреждения и деформаций.

Режимы и факторы, влияющие на размеры зоны лазерного воздействия

Помимо основных параметров, таких как мощность лазера, скорость перемещения луча, фокусировка луча (диаметр пятна), длина волны лазера, существует еще один параметр — это режим работы лазера, который также определяет зону лазерного воздействия (ЗЛВ). Основные режимы:

1. Непрерывный режим (Continuous Wave, CW). Он характеризуется стабильным и непрерывным излучением лазерного света без перерывов во времени. В этом режиме мощность лазерного излучения сохраняется постоянной в течение всего времени работы лазера. Источником такого излучения может служить резонатор с постоянным уровнем возбуждения активной среды, обеспечи-

Таблица 1. Критические параметры веществ
Table 1. Critical parameters of substances

Газ	Критические параметры			Основное назначение	Обрабатываемый материал
	T_K, K	P_K, MPa	$V_K, 10^6, m^3/mol$		
Азот (N_2)	126,25	3,400	90,1	Чистый рез без окислов	Нержавеющая сталь
Кислород (O_2)	154,58	5,143	78	Повышение скорости реза	Углеродистая сталь
Аргон (Ar)	150,65	4,86	74,67	Защита от химического взаимодействия	Титан
Гелий (He)	5,19	0,227	57,4	Предотвращает окисление и загрязнение зоны обработки	Нержавеющая сталь
Воздух (Сжатый воздух)	132,5	3,77	29,40	Защита оптических элементов	Углеродистые (конструкционные) стали
Смесь N_2 / Ar	138,5	4,12	82,38	Предотвращение окисления	Титан

Таблица 2. Режимы лазерной резки стали 12X18H10T (толщина 0,8 мм)
Table 2. Laser cutting modes of the 12X18H10T steel (thickness of 0.8 mm)

№ опыта	Мощность, Вт	Частота, Гц	Давление газа, бар	Фокус, мм	Скорость, мм/мин	Изменённый слой, мкм
1	1000	500	9	– 1	210	8...42
2	1100	500	9	– 1	210	7...50
3	1200	500	9	– 1	210	6...53
4	1300	500	9	– 1	210	5...35
5	1400	500	9	– 1	210	7...69
6	1500	500	9	– 1	210	8...28

вающим поддержание лазерного процесса без прерываний.

2. Импульсный режим (Pulse Wave, PW). Он предполагает генерацию лазерного излучения в форме отдельных импульсов с определённой длительностью, энергией и частотой повторения. В период между импульсами интенсивность излучения стремится к нулю. Такой режим позволяет достичь чрезвычайно высоких пиковых мощностей, что невозможно в CW-режиме.

3. Квазинепрерывный режим (Quasi Continuous Wave, QCW). Представляет собой промежуточную форму работы лазера, при которой излучение формируется серией импульсов с длительностью, достаточной для создания практически непрерывного светового потока на временных интервалах. Временные промежутки между импульсами достаточно малы, чтобы усреднённое излучение воспринималось как почти непрерывное.

Оптимальный выбор режима работы и параметров лазера позволяет добиться необходимого результата — от поверхностного упрочнения до глубокого реза с минимальными термическими деформациями. Контроль температуры и фазовых переходов является ключевым для повышения качества и стабильности лазерной обработки, поэтому в процессе обработки применяют газы, зачастую имеющие доминирующее влияние на конечный результат.

В промышленности широко применяют лазерную технику, имеющую подвод газового потока в зону обработки, при этом применяют различные газы.

Выбор газа в зависимости от типа материала

Выбор технологического газа зависит от химического состава обрабатываемого металла и требований к качеству поверхности. Наиболее применяемые сочетания газов приведены в табл. 1.

Критическая температура (T_K): температура, выше которой газ не может быть сжижен ни при каком давлении. Критическое давление (P_K): минимальное давление, необходимое для сжижения газа при достижении критической температуры. Критический объем (V_K): объем, который занимает один моль вещества при критических параметрах.

Применение технологических газов при лазерной резке металлов является критическим фактором, определяющим качество, производительность и экономичность процесса. Правильный выбор типа газа и параметров его подачи позволяет оптимизировать тепловое воздействие, минимизировать дефекты и повысить ресурс оборудования [15].

Проведение экспериментов

Целью настоящего исследования является определение влияния мощности лазерного излучения на толщину изменённого слоя при резке листового материала 12X18H10T толщиной 0,8 мм на установке DMG MORI Lasertec 20, оснащённой волоконным лазером непрерывного действия (CW-режим).

Методика эксперимента. Образцы из коррозионно-стойкой стали 12X18H10T толщиной 0,8 мм подвергались резке на установке DMG MORI Lasertec 20 для определения изменённого слоя и визуального исследования реза. Резка выполнялась в среде технологического газа — азота (N_2),

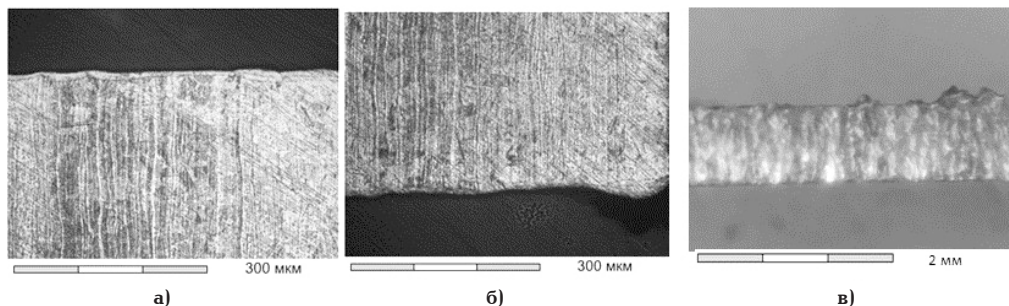


Рис. 1. Обработанная поверхность стали 12X18H10T, опыт № 1:
а), б) микроструктура модифицированного слоя; в) поверхность после реза
Fig. 1. Processed surface of the 12X18H10T steel, experiment no. 1:
a), б) microstructure of the modified layer; в) surface after cutting

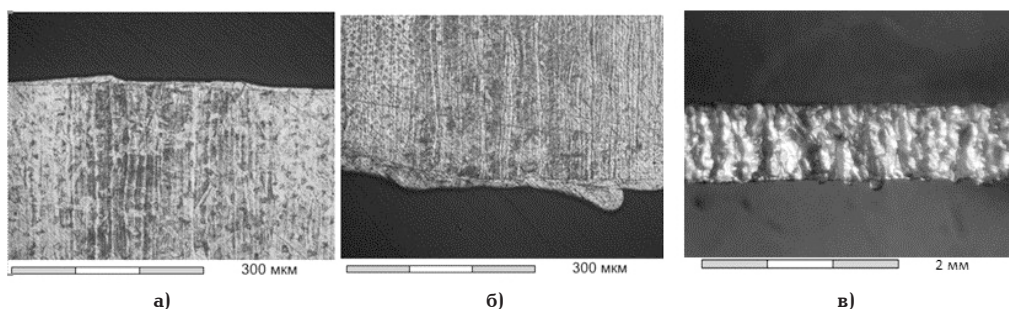


Рис. 2. Обработанная поверхность стали 12X18H10T, опыт № 2:
а), б) микроструктура модифицированного слоя; в) поверхность после реза
Fig. 2. Processed surface of the 12X18H10T steel, experiment no. 2:
a), б) microstructure of the modified layer; в) surface after cutting

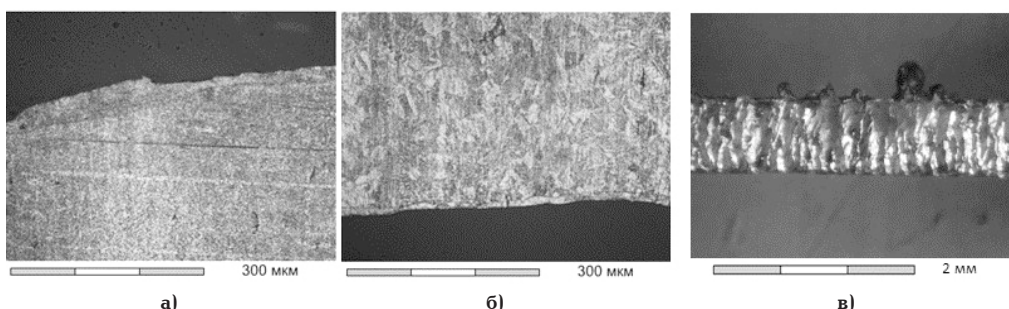


Рис. 3. Обработанная поверхность стали 12X18H10T, опыт № 3:
а), б) микроструктура модифицированного слоя; в) поверхность после реза
Fig. 3. Processed surface of the 12X18H10T steel, experiment no. 3:
a), б) microstructure of the modified layer; в) surface after cutting

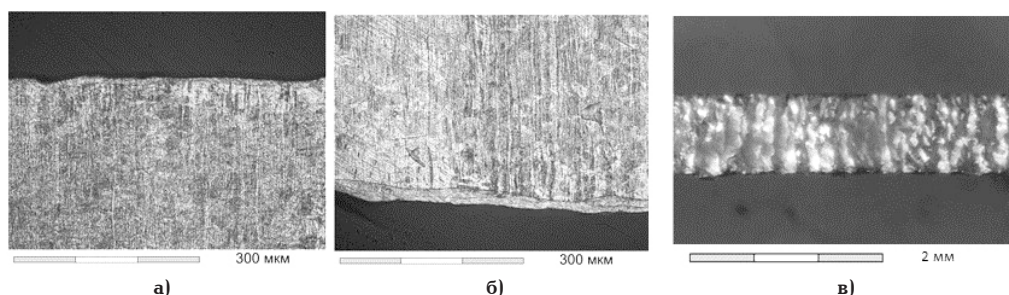


Рис. 4. Обработанная поверхность стали 12X18H10T, опыт № 4:
а), б) микроструктура модифицированного слоя; в) поверхность после реза
Fig. 4. Processed surface of the 12X18H10T steel, experiment no. 4:
a), б) microstructure of the modified layer; в) surface after cutting

применяемого для предотвращения окисления кромки и обеспечения высокого качества реза. Во всех экспериментах использовались одинаковые условия обработки, за исключением мощности лазерного излучения, которая варьировалась в диапазоне от 1000 до 1500 Вт.

Основные параметры эксперимента приведены в табл. 2.

После резки каждый образец подвергался металлографическому анализу с использованием оптического микроскопа при увеличении $\times 300$, $\times 100$. Изменённый слой определяли, как зону с видимы-

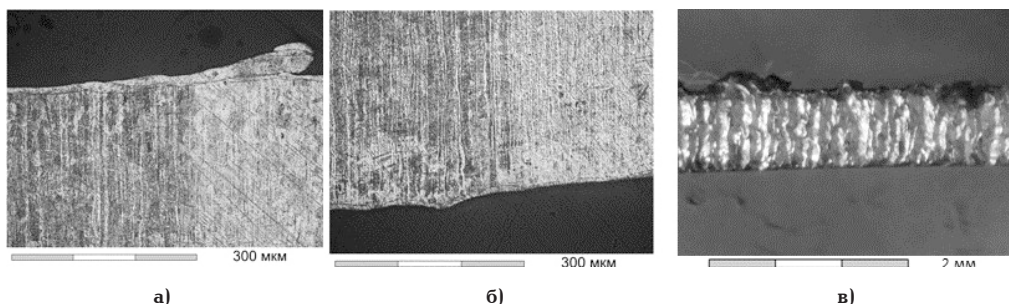


Рис. 5. Обработанная поверхность стали 12X18H10T, опыт № 5:
а), б) микроструктура модифицированного слоя; в) поверхность после реза
Fig. 5. Processed surface of the 12X18H10T steel, experiment no. 5:
а), б) microstructure of the modified layer; в) surface after cutting

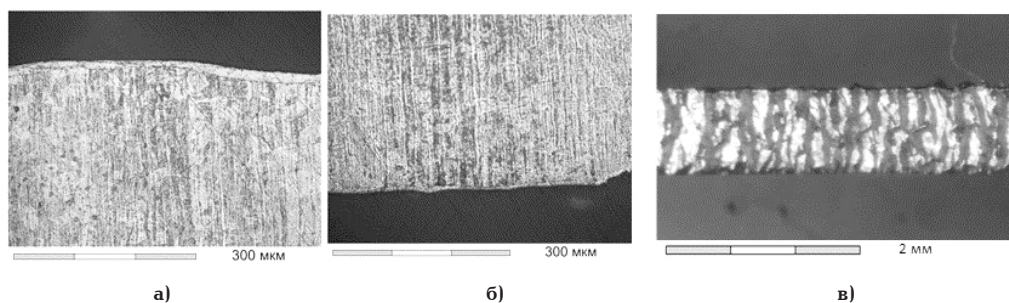


Рис. 6. Обработанная поверхность стали 12X18H10T, опыт № 6:
а), б) микроструктура модифицированного слоя; в) поверхность после реза
Fig. 6. Processed surface of the 12X18H10T steel, experiment no. 6:
а), б) microstructure of the modified layer; в) surface after cutting

ми признаками структурной неоднородности и рекристаллизации по границе реза.

Фотографии обработанной поверхности (рис. 1 – 6) демонстрируют морфологические особенности изменённой зоны при различных мощностях излучения.

Результаты

Анализ микроструктуры показал, что при увеличении мощности лазера от 1000 до 1200 Вт наблюдается постепенное утолщение изменённого слоя (до 50–53 мкм), что связано с возросшим тепловым воздействием и увеличением зоны термического влияния. При мощности 1300 Вт толщина изменённого слоя снижается до 35 мкм, что может быть обусловлено изменением режима плавления и стабилизацией фронта реза.

Наиболее неравномерная структура наблюдается при мощности 1400 Вт: толщина изменённого слоя достигала 69 мкм, а на микрошлифах фиксировались участки перегрева и микротрещины по границе расплава (рис. 5). При дальнейшем повышении мощности до 1500 Вт формировалась более компактная зона с толщиной 8–28 мкм и признаками быстрой кристаллизации расплава с образованием мелкодендритной литой структуры аустенита, характерной для высоких скоростей охлаждения при лазерной обработке (рис. 6). Таким образом, влияние мощности лазера на толщину изменённого слоя носит нелинейный характер. Рациональной мощностью для рассматриваемых условий можно считать диапазон 1200–1300 Вт, при котором достигается минимальная ширина зоны термического влияния и невысокие значения неровности кромки реза (например, максимальная высота профиля поверхности не превышает 5–7 мкм), что позволяет объективно оценивать качество реза. На рис. 7

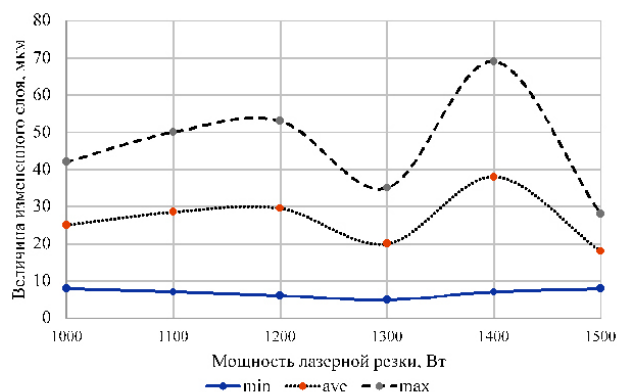


Рис. 7. График зависимости изменённого слоя от мощности лазерной резки
Fig. 7. Diagram of the dependence of the modified layer on the laser cutting power

представлен график зависимости изменённого слоя от мощности лазерной резки. Полученные данные согласуются с литературными источниками, указывающими на наличие оптимальной мощности лазера для минимизации микроструктурных дефектов и шероховатости поверхности.

В результате проведённых экспериментов установлено следующее:

1. Толщина изменённого слоя при лазерной резке стали 12X18H10T существенно зависит от мощности излучения.
2. Минимальная ширина зоны термического влияния (5–35 мкм) достигается при мощности 1300 Вт.
3. При повышении мощности свыше 1400 Вт наблюдается перегрев материала и увеличение глубины изменённого слоя до 69 мкм.

4. Оптимальные параметры резки для листа толщиной 0,8 мм: мощность 1200–1300 Вт, частота 500 Гц, давление газа 9 бар, фокус – 1 мм, скорость 210 мм/мин.

Заключение

В ходе проведённого исследования рассмотрены физические основы процессов лазерной обработки металлов, включая механизмы взаимодействия лазерного излучения с поверхностью материала и закономерности теплового распределения в зоне воздействия. Установлено, что характер изменения структуры и свойств металла определяется совокупностью основных параметров резки — мощности и скорости перемещения луча.

Проведённые эксперименты по лазерной резке нержавеющей стали 12X18H10T толщиной 0,8 мм на установке DMG MORI Lasertec 20 позволили установить влияние мощности лазерного излучения на формирование изменённого слоя в зоне термического влияния.

Анализ результатов показал, что увеличение мощности от 1000 до 1200 Вт приводит к росту толщины изменённого слоя вследствие усиления теплового воздействия на материал. При дальнейшем увеличении мощности до 1300 Вт наблюдается стабилизация процесса и уменьшение толщины зоны термического влияния до 5–35 мкм, что свидетельствует о более эффективном удалении расплава и оптимальном распределении тепловой энергии.

При мощностях выше 1300 Вт (1400–1500 Вт) отмечается неравномерное формирование структуры изменённого слоя, сопровождающееся колебаниями его толщины в диапазоне 7–69 мкм. Это указывает на появление локальных перегревов и микродефектов, связанных с нестабильностью теплового баланса в зоне обработки.

Таким образом, установлено, что оптимальные условия лазерной резки исследуемого материала обеспечиваются при мощности 1200–1300 Вт, частоте 500 Гц, давлении газа 9 бар, фокусном расстоянии – 1 мм и скорости 210 мм/мин. В этих режимах достигается минимальная толщина изменённого слоя, стабильная форма реза и отсутствие термических дефектов.

Результаты исследования могут быть использованы для выбора рациональных режимов лазерной обработки нержавеющей сталей, а также при разработке технологических карт для высокоточной резки тонколистовых конструкций.

Список источников / References

1. Капалин Н. Ю., Бердников О. О., Реченко Д. С., Лопатин Б. А. Влияние скорости перемещения лазерной режущей головки при обработке сплава 12X18H10T на качество получаемой поверхности // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2026. Т. 26, № 1. С. 78–86. <https://doi.org/10.14529/engin260107>. EDN: GNTOXС.

Kapalin N. Yu., Berdnikov O. O., Rechenko D. S., Lopatin B. A. The effect of the speed of movement of the laser cutting head during processing of alloy 12X18H10T on the quality of the resulting surface. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*. 2026;26(1):78–86. <https://doi.org/10.14529/engin260107>. EDN: GNTOXС. (In Russ.).

2. Минаев И. В. Влияние режимов лазерного микроструктурирования на концентрацию углерода и уровень остаточных напряжений в поверхностном слое изделий из углеродистых сталей // Известия Юго-Западного государствен-

ного университета. Серия: Техника и технологии. 2025. Т. 15, № 1. С. 39–50. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2025-15-1-39-50>. EDN: KWYMUК.

Minaev I. V. The effect of laser microstructuring modes on Carbon concentration and the level of residual stresses in the surface layer of carbon steel products. *Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technology*. 2025;15(1):39–50. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2025-15-1-39-50>. EDN: KWYMUК. (In Russ.).

3. Гурьев В. А., Гребнев Ю. В., Жаркова В. Ф., Гребнев Д. Ю. Лазерная обработка отливок из серого чугуна // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия «Металлургия». 2025. № 7 (302). С. 84–87. <https://doi.org/10.35211/1990-5297-2025-7-302-84-87>. EDN: TBVCDW.

Guriev V. A., Grebnev Yu. V., Zharkova V. F., Grebnev D. Yu. Laser processing of castings from grey cast iron. *Izvestia Volgograd State Technical University. Series "Metallurgy"*. 2025;7(302):84–87. <https://doi.org/10.35211/1990-5297-2025-7-302-84-87>. EDN: TBVCDW. (In Russ.).

4. Григорьянц А. Г., Казарян М. А., Лябин Н. А. Лазерная прецизионная микрообработка материалов. Москва: Физматлит, 2017. 416 с.

Grigoryants A. G., Kazaryan M. A., Lyabin N. A. *Lazernaya pretsizionnaya mikroobrabotka materialov*. Moscow, 2017. 416 p. (In Russ.).

5. Ретюхин Г., Ланин В. Л., Школык С. Лазерная размерная обработка материалов подложек МЭМС // Технологии в электронной промышленности. 2014. № 6 (74). С. 90–95. EDN: SMHPJN.

Retyukhin G., Lanin V. L., Shkolyk S. Laser dimensional processing of MEMS substrate materials. *Tekhnologii v Elektronnoy Promyshlennosti*. 2014;6(74):90–95. EDN: SMHPJN. (In Russ.).

6. Закалюкина Л. А., Баннов В. Я. Виды и параметры процесса лазерной резки // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2016. № 19. С. 163–167. EDN: VTZOGT.

Zakalyukina L. A., Bannov V. Ya. Vidy i parametry protsessa lazernoy rezki. *Novyye Informatsionnyye Tekhnologii v Avtomatizirovannykh Sistemakh*. 2016;19:163–167. EDN: VTZOGT. (In Russ.).

7. Steen W. M., Mazumder J. *Laser Material Processing*. Springer, 2010. 558 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-84996-062-5>. ISBN 978-1-84996-061-8. EDN: SSJTHD.

8. Alsaadawy M., Dewidar M., Said A. [et al.]. A comprehensive review of studying the influence of laser cutting parameters on surface and kerf quality of metals. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2024;130(4):1039–1074. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-12768-1>.

9. Кузнецов М., Земляков Е., Бабкин К. Обзор лазерных технологических головок для реализации промышленных лазерных технологий обработки металлических материалов // Фотоника. 2016. № 6(60). С. 14–35. <https://doi.org/10.22184/1993-7296.2016.60.6.14.33>. EDN: XEUECL.

Kuznetsov M., Zemlyakov E., Babkin K. Review of laser technological heads for implementation of industrial laser technologies of metal material working. *Photonics*. 2016;6(60):14–35. <https://doi.org/10.22184/1993-7296.2016.60.6.14.33>. EDN: XEUECL. (In Russ.).

10. Барчуков Д. А., Смолякова И. А., Афанасьева Л. Е. Влияние технологических параметров лазерной резки на размер зоны лазерного воздействия // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2024. № 4(24). С. 22–28. <https://doi.org/10.46573/2658-5030-2024-4-22-28>. EDN: GPJLBT.

Barchukov D. A., Smolyakova I. A., Afanasieva L. E. Influence of technological parameters of laser cutting on the size of the laser impact zone. *Vestnik of Tver State Technical University. Series "Technical Science"*. 2024;4(24):22–28. <https://doi.org/10.46573/2658-5030-2024-4-22-28>. EDN: GPJLBT. (In Russ.).

11. Шапарев А. В., Савин И. А. Анализ влияния различных факторов на технологию лазерной резки волоконными лазерами // Вестник Казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева. 2025. Т. 81, № 2. С. 52–57. EDN: DZMNIE.

Shaparev A. V., Savin I. A. Analysis of the impact of various factors on laser cutting technology with fiber lasers. *Bulletin of Kazan State Technical University named after A. N. Tupolev*. 2025;81(2):52–57. EDN: DZMNIE. (In Russ.).

12. Игрунова О. М., Маляренко Р. О. Сегментирование рынка лазерных станков в части российской клиентской базы компании Han's Laser // Экономические и социально-гуманитарные исследования. 2023. № 1(37). С. 47–59. <https://doi.org/10.24151/2409-1073-2023-1-47-59>. EDN: WEVNSZ.

Igrunova O. M., Malyarenko R. O. Laser machine tool market segmentation in a part of Russian customer base of Han's Laser company. *Economic and Social Research*. 2023;1(37):47–59. <https://doi.org/10.24151/2409-1073-2023-1-47-59>. EDN: WEVNSZ. (In Russ.).

13. Козловский В. И., Коростелин Ю. В., Охотников О. Г. [и др.]. Непрерывный лазер на кристалле Cr²⁺:CdSe с накачкой полупроводниковым дисковым лазером // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2012. № 6. С. 30–36. EDN: OYSRCT.

Kozlovskii V. I., Korostelin Y. V., Podmarkov Y. P. [et al.]. CW Cr²⁺:CdSe laser pumped by semiconductor disk laser. *Kratkiye Soobshcheniya po Fizike FIAN*. 2012;6:30–36. EDN: OYSRCT. (In Russ.).

14. Копылова Т. Н., Майер Г. В. Разработка и создание мощных лазеров на красителях с накачкой эксимерными лазерами // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6, № 6. С. 704–711. EDN: SGCQYP.

Kopylova T. N., Mayyer G. V. Razrabotka i sozdaniye moshchnykh lazerov na krasitelyakh s nakachkoy eksimernymi lazerami. *Optika Atmosfery i Okeana*. 1993;6(6):704–711. EDN: SGCQYP. (In Russ.).

15. Жуков А. А., Власов А. М. Влияние вспомогательных газов при лазерной резке, их преимущества и недостатки // Современные материалы, техника и технологии. 2024. № 3(54). С. 38–43. <https://doi.org/10.47581/2024.SMTT-3/Gukov-Alex-01>. EDN: KAOBSL.

Zhukov A. A., Vlasov A. M. Influence of auxiliary gases in laser cutting, their advantages and disadvantages. *Modern Materials, Equipment and Technologies*. 2024;3(54):38–43. <https://doi.org/10.47581/2024.SMTT-3/Gukov-Alex-01>. EDN: KAOBSL. (In Russ.).

Вклад авторов:

Н. Ю. Капалин. Постановка цели и задач исследования, анализ состояния вопроса, проведение экспериментальных исследований, оценка результатов, формулирование выводов, подготовка текста статьи.

О. О. Бердников. Проведение обзора научно-технической литературы, разработка и анализ технологических решений, участие в обработке и интерпретации результатов исследования.

Д. С. Реченко. Поиск способов интеграции разработанных технологических решений в существующую производственную систему, анализ результатов экспериментов и участие в подготовке материалов статьи.

Authors' contribution:

Nikolay Yu. Kapalin. Setting research aim and objectives, analysing the status of the issue, conducting experimental research, evaluating results, presenting conclusions and preparing the text of the article.

Oleg O. Berdnikov. Conducting a review of scientific and technical literature, developing and analysing

technological solutions, participating in the processing and interpretation of research results.

Denis S. Rechenko. Searching ways to integrate the developed technological solutions into the existing production system, analysing experimental results and preparing of the materials of the article.

Информация об авторах:

КАПАЛИН Николай Юрьевич, аспирант кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск.

SPIN-код: 9723-7716

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5985-9296>

e-mail: kapanick@mail.ru

БЕРДНИКОВ Олег Олегович, аспирант кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» ОмГТУ, г. Омск.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0201-2116>

e-mail: oleg-berdnikow@mail.ru

РЕЧЕНКО Денис Сергеевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 8260-8320

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6776-6452>

ResearcherID: D-5096-2014

AuthorID (SCOPUS): 25227868500

e-mail: rechenko-denis@mail.ru

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 20.11.2025; одобрена после рецензирования 04.03.2026; принята к публикации 18.05.2026.

Information about the authors:

KAPALIN Nikolay Yur'yevich, Postgraduate of the Metal-Cutting Machines and Tools Department, Omsk State Technical University, Omsk.

SPIN-code: 9723-7716

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5985-9296>

e-mail: kapanick@mail.ru

BERDNIKOV Oleg Olegovich, Postgraduate of the Metal-Cutting Machines and Tools Department, Omsk State Technical University, Omsk.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0201-2116>

e-mail: oleg-berdnikow@mail.ru

RECHENKO Denis Sergeyevich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Metal-Cutting Machines and Tools Department, Omsk State Technical University, Omsk.

SPIN-code: 8260-8320

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6776-6452>

ResearcherID: D-5096-2014

AuthorID (SCOPUS): 25227868500

e-mail: rechenko-denis@mail.ru

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

The authors have read and approved the final manuscript.

The article was submitted 20.11.2025; approved after reviewing 04.03.2026; accepted for publication 18.05.2026.