ДИЗАЙН

Научная статья
УДК 739.52; 672; 673.1
EDN HSEVQU
https://doi.org/10.34216/2587-6147-2026-3-73-77-84
Денис Михайлович Цветков
Костромской государственный университет, г. Кострома, Россия
denis.tsvetkov@bk.ru; https://orcid.org/0009-0007-1223-2596

ФОРМИРОВАНИЕ ВИЗУАЛЬНЫХ И ТАКТИЛЬНЫХ ЭФФЕКТОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

Аннотация. *Исследовано влияние параметров импульсной лазерной обработки на формирование визуальных и тактильных эффектов на поверхностях стали AISI 304, мельхиора МН-19 и титана ВТ1-0. Методом полного факторного эксперимента варьировались мощность излучения (10...90 % от 50 Вт), скорость сканирования (50...900 мм/с) и разрешение (20...100 линий/мм). Анализ микроструктуры, параметров шероховатости (Ra, Rz) и локального цвета (усредненное значение RGB) показал, что лазерная обработка позволяет формировать поверхности в широком диапазоне состояний: от слабо модифицированных (Ra ≈ 0,14 мкм) до выражено фактурированных (Ra до 16 мкм). Для стали AISI 304 выявлены немонотонные (V-образные) зависимости локального цвета от скорости сканирования, соответствующие переходным режимам обработки. Для титана ВТ1-0 установлен иной механизм цветообразования, связанный с формированием интерференционных оксидных пленок. На основе экспериментальных данных разработаны практические рекомендации по выбору режимов лазерной обработки для получения воспроизводимых декоративных эффектов при проектировании изделий дизайна, ювелирных украшений и фурнитуры.*
Ключевые слова: *лазерная обработка, декоративная отделка, микроструктура поверхности, шероховатость, локальный цвет, AISI 304, мельхиор, титан, дизайн поверхности*

Для цитирования: Цветков Д. М. Формирование визуальных и тактильных эффектов металлических поверхностей методом лазерной обработки // Технологии и качество. 2026. № 3(73). С. 77–84. https://doi.org/10.34216/2587-6147-2026-3-73-77-84.

Original article
Denis M. Tsvetkov
Kostroma State University, Kostroma, Russia

FORMATION OF VISUAL AND TACTILE EFFECTS
OF METALLIC SURFACES BY LASER PROCESSING

Abstract. *The influence of pulsed laser processing parameters on the formation of visual and tactile effects on the surfaces of AISI 304 steel, MN-19 nickel silver, and VT1-0 titanium has been investigated. Using a full factorial design, laser power (10...90 % of 50 W), scanning speed (50...900 mm/s), and resolution (20...100 lines/mm) were varied. Analysis of microstructure, roughness parameters (Ra, Rz), and local color (averaged RGB value) showed that laser processing can create surfaces in a wide range of states: from slightly modified (Ra ≈ 0.14 μm) to distinctly textured (Ra up to 16 μm). For AISI 304 steel, non-monotonic (V-shaped) dependencies of local color on scanning speed were revealed, corresponding to transitional processing regimes. For VT1-0 titanium, a different color formation mechanism was established, associated with the formation of interference oxide films. Based on the experimental data, practical recommendations have been developed for selecting laser processing modes to obtain reproducible decorative effects in the design of design products, jewelry, and hardware.*

© Цветков Д. М., 2026

Keywords: *laser processing, decorative finishing, surface microstructure, roughness, local color, AISI 304, nickel silver, titanium, surface design*

For citation: Tsvetkov D. M. Formation of visual and tactile effects of metallic surfaces by laser processing. Technologies & Quality. 2026. No 3(73). P. 77–84. (In Russ.) https://doi.org/ 10.34216/2587-6147-2026-3-73-77-84.

Поверхность изделия является одним из ключевых факторов, определяющих его визуальное восприятие и тактильные свойства. В современном предметном и промышленном дизайне возрастает интерес к микроструктурированным металлическим поверхностям, формирующим индивидуальный визуальный образ изделия и специфические ощущения при тактильном контакте. При этом целенаправленное формирование цветовых характеристик и локального цвета поверхности является одной из ключевых задач современного дизайна, в том числе ювелирно-художественных изделий [1]. Подобные поверхности находят применение в декоративной фурнитуре, сувенирной продукции, корпусных элементах приборов, а также в дизайнерских и ювелирных изделиях [2, 3].

Традиционные методы отделки металлических поверхностей, такие как механическое фактурирование, полировка, пескоструйная обработка, электрохимическое и химическое травление, широко применяются в промышленности и дизайне [4–6], однако они, как правило, требуют использования дополнительных материалов, технологических сред и приемов, оснастки и инструмента, а также затрудняют локальное и воспроизводимое формирование микрорельефа и визуальных характеристик поверхности.

Лазерная обработка позволяет локально и управляемо изменять состояние поверхности без непосредственного механического контакта, формируя заданный микрорельеф и оптические свойства [7, 8]. В литературе широко представлены исследования, ориентированные на функциональные характеристики лазерно-модифицированных поверхностей, такие как износостойкость, адгезия покрытий и коррозионная стойкость. В то же время декоративные свойства поверхности, играющие ключевую роль в дизайне изделий, в большинстве работ рассматриваются как вторичный эффект [9].

Недостаточно изученными остаются вопросы систематического использования экспериментальных данных о шероховатости и цвете поверхности для целенаправленного формирования визуальных и тактильных эффектов. В частности, редко анализируются немонотонные зависимости цветовых характеристик от параметров лазерной обработки и их связь с морфологией поверхности [10].

Целью настоящей работы является установление взаимосвязи между параметрами лазерной обработки, измеряемыми характеристиками поверхности и формируемыми визуально-тактильными эффектами, применимыми в дизайне металлических поверхностей изделий.

Материалы и методы исследования

Исследуемые материалы. В качестве объектов исследования использовались сталь AISI 304, мельхиор МН-19 и титан ВТ1-0. Выбор материалов обусловлен их широким применением в декоративных и функциональных изделиях, достаточно близкими исходными цветовыми характеристиками, а также существенными различиями в теплофизических свойствах, отражательных характеристиках и склонности к окислению, что позволяет провести сравнительный анализ формирования визуально-тактильных эффектов [11].

Параметры лазерной обработки. Лазерная обработка проводилась с использованием импульсного волоконного лазера МиниМаркер-2 М50 с длиной волны 1064 нм и частотой следования импульсов 20 кГц. В ходе эксперимента варьировались следующие параметры:

– мощность лазерного излучения: 10, 30, 50, 70 и 90 % от номинальной мощности 50 Вт;
– скорость сканирования: 50, 100, 300, 600 и 900 мм/с;
– разрешение сканирования: 20, 40, 100 линий/мм.

Для стали AISI 304 эксперименты проводились при разрешениях 20 и 40 линий/мм. Детальный анализ влияния параметров обработки на декоративные характеристики данной стали представлен в отдельном исследовании [12]. Для мельхиора МН-19 и титана ВТ1-0 диапазон разрешений был расширен до 100 линий/мм с целью анализа перехода от выраженно текстурированных поверхностей к визуально однородным цветовым полям, что принципиально важно при создании декоративных эффектов.

Методы анализа поверхности. Микроструктура поверхности анализировалась с помощью металлографического микроскопа Метам ЛВ-32. Параметры шероховатости Ra и Rz измерялись контактным профилометром Marsurf PS1 в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 4287–2014 [13]. Для каждого образца проводилось пять измерений, максимальное и мини-

мальное значения отбрасывались, три оставшихся значения усреднялись. Подобный подход к сбору и усреднению данных соответствует современной практике статистического анализа результатов лазерной обработки [11].

Цветовые характеристики поверхности определялись методом цифровой макросъемки с последующим вычислением локального цвета (среднего значения RGB) для зоны лазерной обработки [11]. Параметр локального цвета является важной интегральной характеристикой визуального восприятия поверхности в дизайне [1]. Для определения локального цвета выбирались пять точек в пределах зоны маркировки; для них определялись значения RGB, после чего крайние значения отбрасывались, а остальные усреднялись.

В случаях когда в результате лазерной обработки формировались выраженные цветные изображения (мельхиор МН-19 и титан ВТ1-0), полученные значения RGB дополнительно приводились к интегральной характеристике яркости (оттенкам серого) с целью унификации обработки данных и обеспечения сопоставимости результатов между различными материалами и режимами лазерной обработки [10].

Экспериментальные результаты и обсуждение

Диапазон формируемых состояний поверхности. Экспериментальные результаты показали, что лазерная обработка позволяет формировать поверхности в широком диапазоне состояний – от слабо модифицированных до выраженно фактурированных (рис. 1).

Значения параметра Ra изменялись приблизительно от 0,14 до 16 мкм, что коррелирует с максимальными значениями шероховатости, достигаемыми при интенсивных режимах лазерной обработки нержавеющих сталей [11], Rz от 1,4 до 100 мкм. Цветовые характеристики поверхности в модели RGB варьировались от светлых до темных насыщенных тонов.

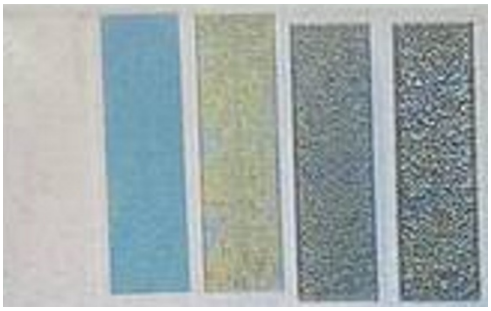
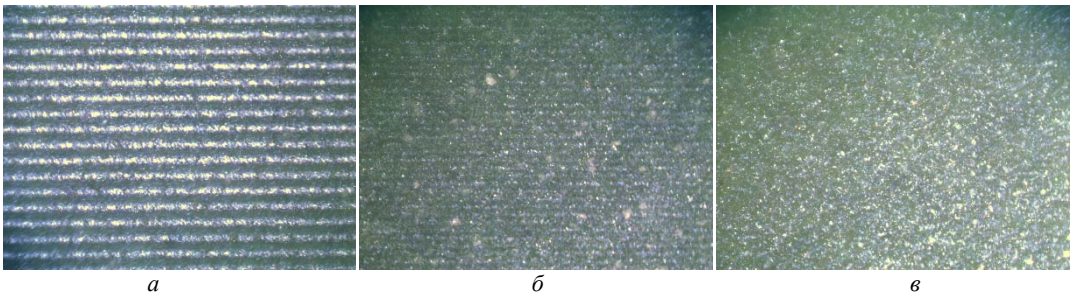


Рис. 1. Поверхность титана после лазерной обработки при разрешении 20 линий/мм и скорости 200 мм/с в зависимости от мощности

Таким образом, исследованные режимы охватывают как области финишной обработки поверхности, так и режимы целенаправленного формирования декоративной фактуры. В контексте дизайна изделий формирование фактуры с заданными характеристиками может рассматриваться как разновидность финишной обработки, ориентированной не на минимизацию шероховатости, а на создание заданного визуального и тактильного эффекта поверхности [3].

Влияние разрешения сканирования. Изменение разрешения сканирования оказывает существенное влияние на устойчивость визуального восприятия поверхности. При низких разрешениях (20...40 линий/мм) формируются выраженные фактурированные зоны (рис. 2, *а*, *б*), в которых локальный цвет существенно зависит от пространственного распределения следов лазерной обработки. В этом диапазоне наличие экстремумов локального цвета проявляется наиболее отчетливо [12].

Более однородный характер поверхность приобретает при увеличении разрешения до 100 линий/мм (см. рис. 2, *в*), колебания локального цвета исчезают. Это указывает на возможность управления не только значением локального цвета, но и пространственной стабильностью цветового восприятия, что имеет принципиальное значение при формировании декоративных поверхностей [6].



а *б* *в*

Рис. 2. Образцы титана ВТ1-0 при 100-кратном увеличении после лазерной обработки при скорости 300 мм/с, мощности 50 % от номинала и разрешении: *а* – 20 линий/мм; *б* – 40 линий/мм; *в* – 100 линий/мм

Влияние мощности лазерного излучения. Увеличение мощности лазерного излучения приводит к росту параметров Ra и Rz для всех исследованных материалов (рис. 3). При низких мощностях (10...30 %) формируется слабо модифицированная поверхность с минимальным микрорельефом. При средних и высоких мощностях (50...70 %) наблюдается резкое увеличение шероховатости, связанное с переходом к неустойчивым режимам формирования поверхности и развитием выраженной фактуры.

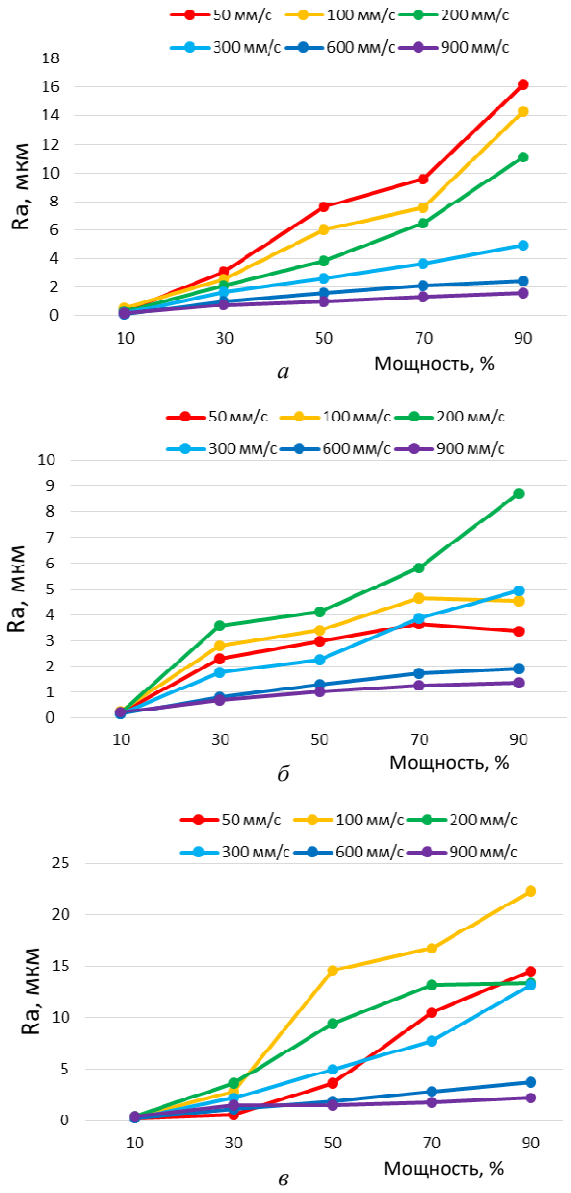


Рис. 3. Зависимости Ra от мощности лазерного излучения при разрешении 40 линий/мм: *а* – сталь AISI 304; *б* – мельхиор МН-19; *в* – титан ВТ1-0

При дальнейшем увеличении мощности (90 %) для ряда режимов наблюдается частичное сглаживание микрорельефа, что может быть связано с перераспределением материала в приповерхностном слое.

Влияние скорости сканирования. Изменение скорости сканирования оказывает заметное влияние на формирование микрорельефа и визуальных характеристик поверхности (рис. 4). Для стали AISI 304 и мельхиора МН-19 минимальные значения Ra, как правило, достигаются при скоростях 600...900 мм/с. При низких скоростях формируется более выраженный микрорельеф, тогда как при увеличении скорости поверхность становится более однородной.

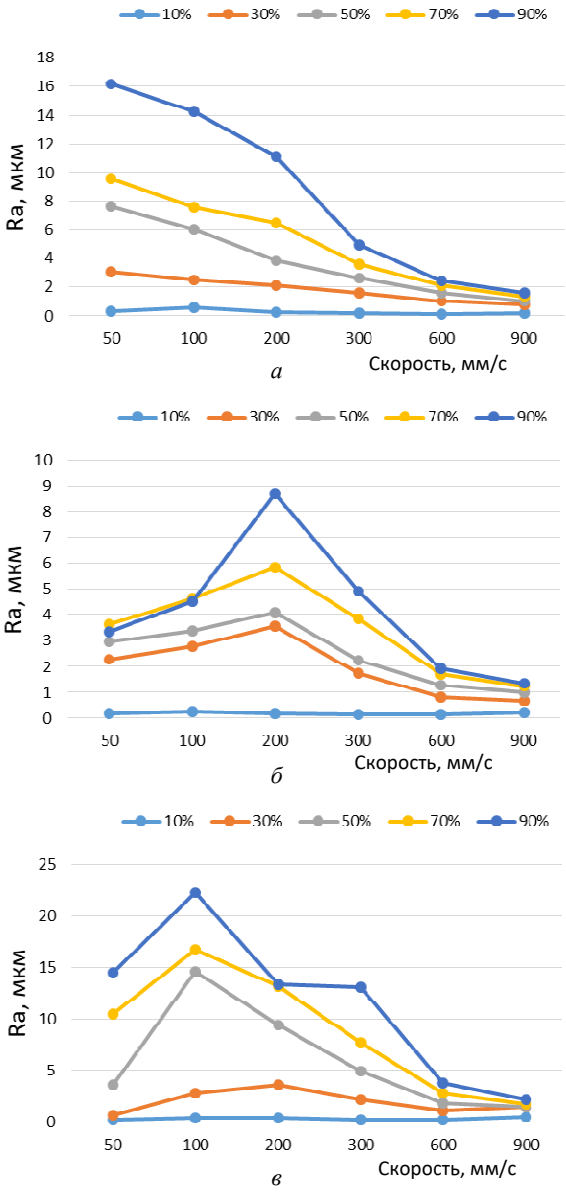


Рис. 4. Зависимость шероховатости Rz от скорости движения луча при различных мощностях излучения при разрешении 40 линий/мм: *а* – сталь AISI 304; *б* – мельхиор МН-19; *в* – титан ВТ1-0

Для титана ВТ1-0 данный эффект выражен значительно слабее: даже при высоких скоростях сканирования сохраняются условия для формирования развитого микрорельефа, что от-

ражается в менее выраженном снижении шероховатости [12].

Обсуждение цветовых характеристик поверхности. Изменение цветовых характеристик поверхности в модели RGB коррелирует с развитием микрорельефа и изменением оптических свойств поверхности, обусловленных лазерной обработкой. Для стали AISI 304 и мельхиора МН-19 наблюдается обратная зависимость между интегральной яркостью поверхности и значениями Ra и Rz: увеличение шероховатости сопровождается визуальным затемнением поверхности [9, 12].

Следует отметить, что для мельхиора МН-19 и титана ВТ1-0 в ряде режимов лазерной обработки формируются выраженные цветовые оттенки, визуально различимые при макросъемке. Однако в рамках данной работы анализ был сосредоточен на интегральных изменениях яркости поверхности как характеристике визуального восприятия и контрастности, тогда как детальный анализ цветового тона может являться предметом отдельного исследования [1, 10].

Анализ цветовых характеристик для стали AISI 304, выполненный в рамках настоящей работы, подтвердил и дополнил закономерности, подробно описанные ранее [12]. При анализе зависимостей среднего значения RGB от скорости сканирования при фиксированной мощности для стали AISI 304 выявлена характерная немонотонная, близкая к V-образной, форма кривых. Для каждого уровня мощности наблюдается выраженный локальный минимум RGB (рис. 5).

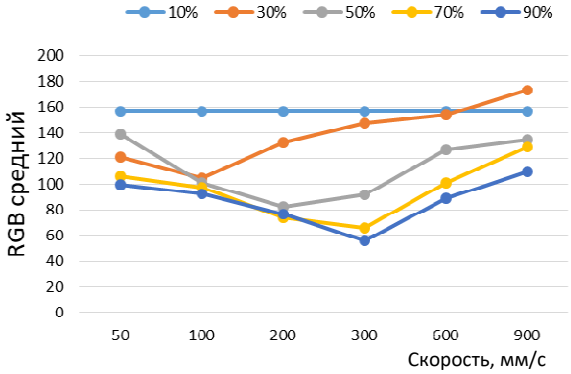


Рис. 5. Зависимость среднего значения RGB от скорости сканирования для стали AISI 304 при разрешении 40 линий/мм

При низких скоростях сканирования формируется устойчивый микрорельеф с четко различимыми следами воздействия, что соответствует относительно высоким значениям локального цвета. При увеличении скорости до промежуточных значений происходит сглаживание границ между отдельными зонами воздействия, сопровождающееся снижением контрастности поверхности и уменьшением среднего значения RGB. Визуально это проявляется в слиянии отдельных линий и формировании более темного и однородного цветового поля.

При дальнейшем увеличении скорости степень модификации поверхности снижается, отдельные следы воздействия вновь становятся различимыми, а среднее значение RGB возрастает. Таким образом, немонотонные зависимости локального цвета находят прямое подтверждение в морфологии обработанной поверхности. Полученные данные важны для решения задач воспроизводимого формирования заданного локального цвета и контрастности, что является одной из практических проблем цветового дизайна металлических поверхностей [1].

Для мельхиора МН-19 также наблюдается аналогичный эффект (рис. 6), однако выраженный в сглаженной форме, что может быть связано с более эффективным перераспределением тепла в приповерхностном слое вследствие более высокой теплопроводности материала и отражательной способности поверхности по сравнению со сталью.

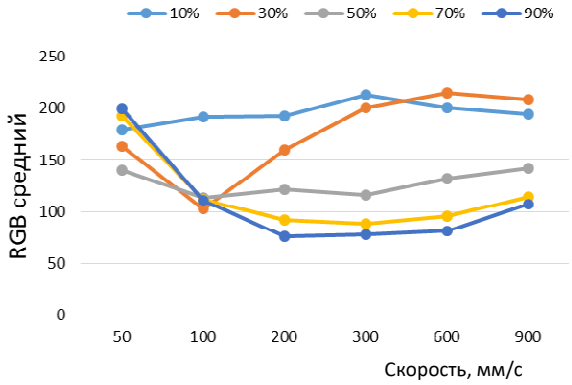


Рис. 6. Зависимость среднего значения RGB от скорости сканирования для мельхиора МН-19 при разрешении 40 линий/мм

Для титана ВТ1-0 смена характера зависимости проявляется значительно слабее или носит фрагментарный характер (рис. 7), что указывает на иной механизм формирования визуального эффекта поверхности, связанный с совокупностью теплофизических и физико-химических свойств материала, в частности, с образованием интерференционных оксидных пленок, что характерно для механизма лазерного отжига [8, 14].

Выявленные немонотонные зависимости локального цвета от параметров лазерной обработки могут рассматриваться как индикатор переходных режимов формирования свойств поверхности [11]. В этих режимах небольшие из-

менения мощности или скорости сканирования приводят к существенным изменениям микрорельефа и оптических свойств поверхности, что находит отражение в характере изменения интегральной яркости.

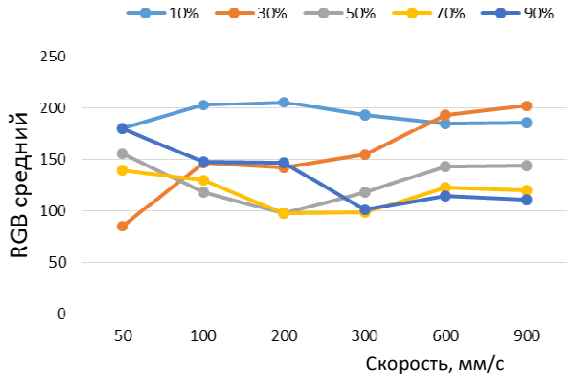


Рис. 7. Зависимость среднего значения RGB от скорости сканирования для титана ВТ1-0 при разрешении 40 линий/мм

Использование экспериментальных данных при проектировании декоративных поверхностей

Полученные экспериментальные данные позволяют рассматривать лазерную обработку как инструмент целенаправленного проектирования визуальных и тактильных свойств металлических поверхностей [7, 8]. В отличие от традиционных методов отделки в данном случае параметры шероховатости и локального цвета могут быть заданы и воспроизведены в пределах установленных диапазонов.

Анализ совокупности зависимостей Ra, Rz и локального цвета показал, что для каждого исследованного материала существуют области устойчивых режимов, обеспечивающие воспроизводимый визуальный эффект, а также переходные режимы, характеризующиеся немонотонными изменениями цветовых характеристик и повышенной чувствительностью к параметрам обработки [12].

Для стали AISI 304 на основе данных, проанализированных в работе [12], устойчивые декоративные эффекты формируются при разрешениях 20...40 линий/мм и средних значениях мощности лазерного излучения. В этих режимах поверхность характеризуется умеренной шероховатостью и стабильным изменением локального цвета в шкале оттенков серого.

Переходные режимы, соответствующие средним скоростям сканирования (200...300 мм/с) при мощности около 30...50 %, сопровождаются нелинейными зависимостями локального цвета. Визуально это проявляется в снижении контрастности следов лазерного воздействия и сглаживании границ фактуры. Такие режимы целесообразно рассматривать как экспериментальные или художественные, но не рекомендованные для серийного производства.

Для мельхиора МН-19 выявлена более сглаженная реакция визуальных характеристик на изменение параметров лазерной обработки [14]. При разрешениях 20...40 линий/мм формируются выраженные текстурированные поверхности, однако немонотонные зависимости локального цвета проявляются менее резко, чем у стали.

Повышение разрешения до 100 линий/мм приводит к формированию визуально более однородных поверхностей с уменьшенной амплитудой колебаний RGB. Это позволяет использовать мельхиор для создания декоративных поверхностей с мягкой визуальной текстурой и комфортными тактильными свойствами. Сглаженный характер переходных режимов может быть связан с более равномерным перераспределением энергии в зоне лазерного воздействия [14].

Для титана ВТ1-0 характерна высокая цветовая вариативность поверхности, особенно при разрешениях 20...40 и 100 линий/мм [14], что согласуется с известной способностью титана к образованию интерференционных цветных оксидных пленок при лазерном воздействии [8, 14]. При этом количественный анализ локального цвета в шкале оттенков серого выявляет слабовыраженные или фрагментарные немонотонные зависимости.

Это указывает на иной механизм формирования визуального эффекта, при котором доминируют процессы изменения поверхностного состояния и образования оксидных пленок интерференционных цветов [8]. С практической точки зрения титан представляет наибольший интерес для уникальных дизайнерских и ювелирных изделий, однако требует более тщательной настройки режимов лазерной обработки [1, 3].

Рекомендации по выбору режимов лазерной обработки. На основе экспериментальных данных сформулированы рекомендации по использованию лазерной обработки для получения различных декоративных эффектов (табл.).

Отдельно следует отметить, что переходные режимы, сопровождающиеся немонотонными зависимостями локального цвета, целесообразно использовать для получения уникальных визуальных эффектов в единичных изделиях, где допустима управляемая вариативность внешнего вида. Для серийного производства предпочтительны области параметров, обеспечивающие устойчивые значения шероховатости и цвета [12].

Таблица

Рекомендованные режимы лазерной обработки для формирования декоративных поверхностей

Материал	Разрешение, линии/мм	Характер поверхности	Диапазон Ra, мкм	Визуальный эффект	Рекомендации по применению
AISI 304	20...40	Слабо-умеренно фактурированная	~0,2...1,5	Контрастная текстура в оттенках серого	Фурнитура, корпусные элементы
		Переходное состояние	~1,5...4,0	Снижение контрастности, немонотонный локальный цвет	Художественные и экспериментальные изделия
МН-19	20...40	Выраженная, сглаженная текстура	~0,3...2,0	Мягкий визуальный эффект	Декоративные и сувенирные изделия
	100	Визуально однородная поверхность	~0,2...1,0	Стабильный цвет, низкая неоднородность	Финишная декоративная обработка
ВТ1-0	20...40	Текстурированная цветная поверхность	~0,5...5,0	Выраженные цветовые эффекты	Дизайнерские и ювелирные изделия
	100	Однородное цветовое поле	~0,3...2,0	Стабильный декоративный цвет	Акцентные элементы изделий

ВЫВОДЫ

В работе экспериментально показано, что лазерная обработка позволяет целенаправленно управлять шероховатостью и цветом поверхностей стали AISI 304 [12], мельхиора МН-19 и титана ВТ1-0. Выявлены переходные режимы обработки, характеризующиеся немонотонными зависимостями цветовых характеристик от параметров лазерного воздействия [11].

Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологий декорирования металлических поверхностей без применения покрытий и дополнительных операций [2, 3, 8], а также при проектировании изделий с заданными визуально-тактильными свойствами [2, 3].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Галанин С. И., Колупаев К. Н., Лебедева Т. В. Цветовой дизайн ювелирно-художественных изделий: проблемы и решения // Технологии и качество. 2023. № 2(60). С. 36–42.
2. Цветков Д. М. Материалы, используемые для изготовления фурнитуры с применением лазерной обработки // Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кострома : Костромской государственный университет, 2025. С. 387–391.
3. Галанин С. И. Лазерные технологии в ювелирном производстве : учеб. пособие. Кострома : Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2014. 108 с.
4. Войнич Е. А., Каукина О. В., Тарасова Е. Е. Использование различных видов декорирования поверхности металла в ювелирном искусстве // Манускрипт. 2019. Т. 12, № 3. С. 151–155.
5. Галанин С. И., Трошина О. А. Рельеф, фактура и текстура в дизайне ювелирных изделий // Дизайн и технологии. 2020. № 77(119). С. 14–21.
6. Галанин С. И. Декорирование поверхности ювелирных изделий // Труды Академии технической эстетики и дизайна. 2018. № 2. С. 5–6.
7. Кончус Д. А., Сивенков А. В., Пряхин Е. И. Особенности лазерной маркировки металлических изделий // Информационно-технологический вестник. 2020. № 1. С. 157–164.
8. Лазерное декорирование драгоценных металлов / В. П. Вейко, Е. А. Власова, А. С. Кривоносов, М. К. Моквин, Г. В. Одинцова // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2017. Т. 81, № 12. С. 1568–1571.
9. Investigation of the Effect of Laser Power, Speed and Frequency on Surface Roughness and Color Marking on AISI 304 / G. Tutins, I. Adijans, E. Yankov, A. Bikovs // Environment. Technology. Resources. 2024. Vol. 3. P. 460–464.
10. Ларионова Е. В. Разработка технологии получения воспроизводимых многоцветных изображений на металлических поверхностях с использованием лазеров : дис. … канд. техн. наук. СПб. : СПбГУПТД, 2010. 168 с.
11. Statistical Modeling and Characterization of Laser Marking on AISI 301LN Stainless Steel Using Short-Pulsed Fiber Laser / M. Rezayat, M. Karamimoghadam, N. Contuzzi, G. Casalino, A. Mateo // Metals. 2025. Vol. 15, no. 5. Art. 519.
12. Цветков Д. М., Галанин С. И., Шорохов С. А. Лазерное декорирование поверхности стали AISI 304 // Технологии и качество. 2025. № 4(70). С. 78–83.

13. ГОСТ Р ИСО 4287–2014 (ISO 4287:1997). Геометрические характеристики изделий (GPS). Структура поверхности: профильный метод. Термины, определения и параметры структуры поверхности. М. : Стандартинформ, 2015. 47 с.
14. Петкова А. П., Ганзуленко О. Ю. Особенности технологии лазерной маркировки изделий из цветных металлов и сплавов с использованием матричных ультраплотных штрихкодов // Цветные металлы. 2022. № 7. С. 92–97.

REFERENCES

1. Galanin S. I., Kolupaev K. N., Lebedeva T. V. Color design of jewelry and art products: problems and solutions. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2023;2(60):36–42. (In Russ.)
2. Tsvetkov D. M. Materials Used for the Manufacture of Hardware Using Laser Processing. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki v oblasti dizayna i tekhnologiy* [Scientific research and development in the field of design and technology]. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. Kostroma. Kostrom. St. Univ. Publ. 2025. P. 387–391. (In Russ.)
3. Galanin S. I. Laser Technologies in Jewelry Production. Kostroma, Kostroma St. Tekhnol. Univ. Publ., 2014. 108 p. (In Russ.)
4. Voynich E. A., Kaukina O. V., Tarasova E. E. The Use of Various Types of Metal Surface Decoration in Jewelry Art. *Manuscript* [The manuscript]. 2019;12;3:151–155. (In Russ.)
5. Galanin S. I., Troshina O. A. Relief, texture and surface texture in jewelry design. *Dizajn i tekhnologii* [Design and technology]. 2020;77(119):14–21. (In Russ.)
6. Galanin S. I. Decoration of jewelery surface. *Trudy Akademii tekhnicheskoj estetiki i dizajna* [Proceedings of the Academy of technical aesthetics and design]. 2018;2:5–6. (In Russ.)
7. Konchus D. A., Sivenkov A. V., Pryakhin E. I. Features of Laser Marking of Metal Products. *Informatsionno-tekhnologicheskiy vestnik* [Information Technology Bulletin]. 2020;1:157–164. (In Russ.)
8. Veiko V. P., Vlasova E. A., Krivonosov A. S., Moskvin M. K., Odintsova G. V. Laser decoration of precious metals. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk Seriya fizicheskaya* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics]. 2017;81,12:1568–1571. (In Russ.)
9. Tutins G., Adijans I., Yankov E., Bikovs A. Investigation of the Effect of Laser Power, Speed and Frequency on Surface Roughness and Color Marking on AISI 304. Environment. Technology. Resources. 2024;3:460–464.
10. Larionova E. V. Development of Technology for Reproducible Multicolor Images on Metal Surfaces Using Lasers: Cand. Techn. Sci. Dis. Saint Petersburg, 2010. 168 p. (In Russ.)
11. Rezayat M., Karamimoghadam M., Contuzzi N., Casalino G., Mateo A. Statistical Modeling and Characterization of Laser Marking on AISI 301LN Stainless Steel Using Short-Pulsed Fiber Laser. Metals. 2025;15,5:519.
12. Tsvetkov D. M., Galanin S. I., Shorokhov S. A. Laser decoration of AISI 304 steel surface. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2025;4(70):78–83. (In Russ.)
13. *GOST R ISO 4287–2014 (ISO 4287:1997). Geometricheskie kharakteristiki izdeliy (GPS). Struktura poverkhnosti: profil'ny metod. Terminy, opredeleniya i parametry struktury poverkhnosti* [State Standart R ISO 4287–2014. Geometrical Product Specifications (GPS). Surface texture: Profile method. Terms, definitions and surface texture parameters]. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 47 p. (In Russ.)
14. Petkova A. P., Ganzulenko O. Yu. Features of laser marking technology for non-ferrous metal products using matrix ultra-dense barcodes. *Cvetnye metally* [Non-ferrous metals]. 2022;7:92–97. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 03.04.2026
Принята к публикации 02.07.2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Д. М. Цветков, старший преподаватель