

УДК 681.944

*В. А. Алексеев*, доктор технических наук, профессор*А. В. Усольцева*, соискатель*В. П. Усольцев*, кандидат технических наук

ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ГРАВИРОВАНИИ ЛАЗЕРОМ

*Проведены исследования по экспериментальному выбору режимов работы лазерного оборудования для повышения качества поверхности промышленных изделий из древесины при гравировании лазером.*

**Ключевые слова:** поверхность, фактура, древесина, гравирование, лазерное оборудование.

Любая отрасль мировой промышленности зависит от материалов и техники, используемых в процессе производства. В промышленном производстве используются различные материалы, одним из наиболее распространенных, используемых во многих сферах, с учетом эстетической и экологической точек зрения, в первую очередь выделяется натуральная древесина [1].

Древесиной в основном называют часть дерева, расположенную сразу под корой. Она определяется такими свойствами, как разбухание, степень влажности, растрескивание, звукоизоляция, текстура, а также цвет и запах. Данный материал используют в производстве более чем двадцати тысяч видов товаров. Древесина различных видов деревьев неодинакова по своим физическим и механическим свойствам. Она различается по весу, плотности, упругости, устойчивости к разрушению грибами, цвету и текстуре (рисунку на срезе). Все эти различия вызваны неодинаковыми химическими составами и анатомическим строением древесины, различным расположением и толщиной одревесневших клеток, трахеид, сосудов, смоляных ходов. При эксплуатации изделий из древесины определяющими являются следующие показатели: твердость, представляющая срок службы поверхностного слоя древесины, уровень окисления, который определяет изменение цвета материала при воздействии света, а также стойкость к нагрузкам и форма текстуры [2–5].

Широкое распространение в машиностроении получают лазерные технологии, как совокупность способов обработки, изменения состояния, свойств и формы материала, осуществляемых посредством лазерного излучения. В большинстве процессов лазерных технологий используется термическое действие лазерного луча, вызываемое поглощением энергии светового потока в обрабатываемом материале. Эффективность лазерных технологий обусловлена высокой плотностью потока энергии лазерного излучения в зоне обработки, возможностью фокусировки излучения с помощью оптических систем в световой луч диаметром в сотые доли миллиметра, возможностью ведения технологических процессов в любой прозрачной среде (в вакууме, газе, жидкости, твердом теле), малой зоной прогрева, обеспечиваемой кратковременным воздействием излучения, а

также возможностью бесконтактной подачи энергии к зоне обработки в замкнутом объеме.

Благодаря этим особенностям лазерное излучение широко используется в технологии промышленного производства, при изготовлении электронных приборов, приборов точной механики, в научных исследованиях. Посредством лазерного излучения осуществляют резку, сверление отверстий, термическую обработку, гравирование, маркирование и многие другие технологические операции. Лазерное излучение существенно превосходит другие источники энергии, что позволяет не только значительно увеличить производительность обработки, но и получать качественно новые результаты по свойствам обрабатываемых материалов. В этой связи лазерный луч как источник нагрева имеет как общие особенности, свойственные всем другим высококонцентрированным источникам, так и свои специфические преимущества [6]. Тем не менее для обработки древесины лазерное излучение применяется недостаточно широко.

Среди способов обработки древесины различают механические, химические и химико-механические. По существующей технологии деревянные изделия вырабатывают с использованием дереворежущего механического инструмента, на токарных или столярных станках, а также вырезают вручную с помощью стамесок, ножей и других простейших приспособлений. После этого большинство изделий шлифуют, полируют, покрывают лаком. Многие мастера украшают поверхность изделий росписью масляными, анилиновыми, гуашевыми красками или нитрокрасками, выжиганием, насечкой металлом, инкрустацией, интарсией.

Определяющее значение имеет качество оборудования. Современное оборудование позволяет получать поверхность обработанной древесины с очень низкой шероховатостью, при этом на некоторых станках поверхность получается как бы зеркальная, конкурентоспособность данной продукции чрезвычайно высока. Кроме выбора качественного оборудования, также необходим постоянный контроль за состоянием оборудования, режущего инструмента и выпускаемой продукции [7].

Среди потребительских свойств промышленных изделий из древесины, обуславливающих их полез-

ность в процессе эксплуатации и потребления, выделяются эстетические свойства. К числу таких свойств относятся форма, рисунок, фактура и цвет. Каждый из этих параметров очень важен, как и их сочетаемость между собой. Все должно быть продумано и сделано так, чтобы после завершения изготовления изделие выглядело красиво и эстетично. Важной эстетической характеристикой является фактура. Под фактурой понимают видимое строение поверхности изделия или материала. В зависимости от особенностей поверхности фактуры делятся на две большие группы: рельефные и гладкие. Каждая из этих групп делится на множество подгрупп. К примеру, гладкость поверхности может меняться от шероховато-ровной до зеркально-блестящей. Рельефность же подразделяется на подгруппы в соответствии с характером и высотой рельефа.

Таким образом, из-за эстетических и экологических свойств древесина нашла широкое применение в машиностроении. Применение лазерных технологий, широко распространенных в промышленном производстве, для нанесения изображений на древесину применяется редко из-за отсутствия апробированных методик, наличия дополнительных требований по эстетическим свойствам, таким как форма, рисунок, фактура и цвет. Ряд теоретических и практических вопросов остаются недостаточно изученными. В частности, не изучена взаимосвязь между технологическими режимами работы лазерного оборудования и характеристиками поверхности промышленных изделий из древесины при гравировании лазером, не исследована степень влияния отдельных эстетических показателей на интегральную оценку потребительских свойств промышленных изделий. Действующие нормативные документы опускают процедурные вопросы, связанные с организацией и проведением объективной оценки качества поверхности при гравировании. Различное толкование терминов вносит дополнительную путаницу и имеет весьма серьезные последствия, сдерживающие ши-

рокое применение лазерных технологий для обработки древесины. Использование нормативных документов из смежных областей промышленности, в частности, полутонового клина, предназначенного для испытания факсимильной аппаратуры типа 2, подгруппы 1 по ГОСТ 12922–77, хотя она и совместима программно и аппаратно с лазерными установками, не всегда обоснованно из-за возникновения дополнительных трудностей в реализации. Формирование критериев оценки с учетом физико-химических процессов, сопровождающих воздействие лазерного излучения на материал, дает не плохие результаты, позволяет повысить предсказуемость полученных результатов. Качество обработанной поверхности определяется отклонением физических и механических свойств верхнего слоя материала. Геометрическое качество поверхности при наличии на ней выступов, впадин, штрихов и других неровностей на малых участках называется микрогеометрией поверхности. На микрогеометрию поверхности при лазерном гравировании, в основном, влияют следующие факторы: технологические режимы (мощность лазерного излучения, скорость гравирования, разрешающая способность, частота импульсов, диаметр сфокусированного лазерного луча на материале), динамические характеристики устройства перемещения лазерного луча, механические свойства обрабатываемого материала.

Для расширения областей применения лазерного излучения для обработки промышленных изделий из древесины проведено исследование микронеровностей поверхности при лазерном гравировании. Для этого использовалось воспроизведение на тангенциальном разрезе сосновой древесины полутонового клина по ГОСТ 24930–81, имеющего 15 ступеней оптической плотности. Оптическая плотность клина первой ступени  $0,05 \pm 0,03$ , 15-й ступени –  $1,74 \pm 0,07$ . Оптическая плотность других ступеней приведена в табл. 1 [8].

Таблица 1. Оптическая плотность ступеней полутонового клина

№ п/п	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Оптич. плот.	0,1	0,18	0,26	0,34	0,46	0,58	0,70	0,82	0,94	1,06	1,23	1,40	1,57

Наиболее оптимальным для рассматриваемого случая является использование  $\text{CO}_2$  – лазера, длина волны излучения 10,6 мкм, управляемого компьютером. Для гравирования выбран лазерный гравер серии Speedy фирмы Trotec (Австрия) с использованием программных продуктов CORELDRAW, JOB-CONTROL. Мощность лазерного излучения изменялась от 0 до 9,6 Вт. Остальные режимы работы лазера были постоянными: скорость лазерного гравирования 18 см/с, разрешающая способность 500

дפי, частота импульсов 1000 Гц, диаметр сфокусированного лазерного луча на материале 0,1 мм [9].

Глубина проникновения излучения в древесину при изменении мощности излучения лазера приведена на рис. 1, среднее значение микронеровностей – на рис. 2, среднее квадратическое отклонение – на рис. 3 и коэффициент корреляции – на рис. 4. Точечной кривой на рисунках представлены тренды (тенденции изменения функциональных зависимостей).

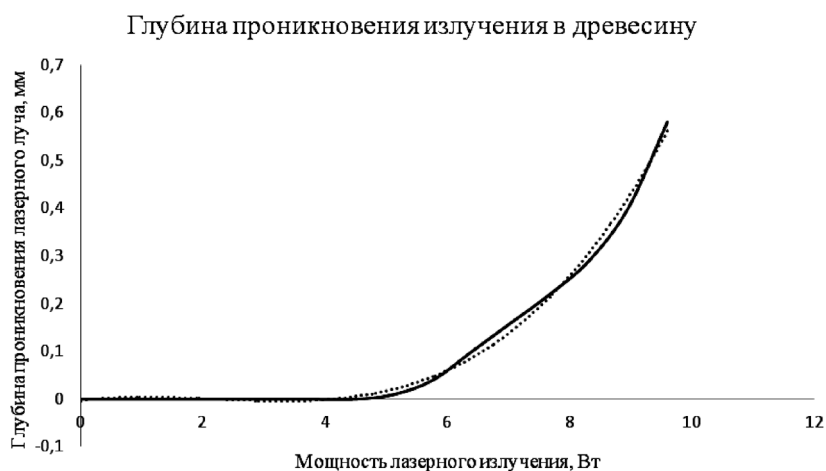


Рис. 1. Глубина проникновения излучения в древесину при изменении мощности излучения лазера.

Тенденция изменения функциональной зависимости аппроксимируется выражением

$$y = 0,0015x^3 - 0,0098x^2 + 0,0158x - 0,0037$$

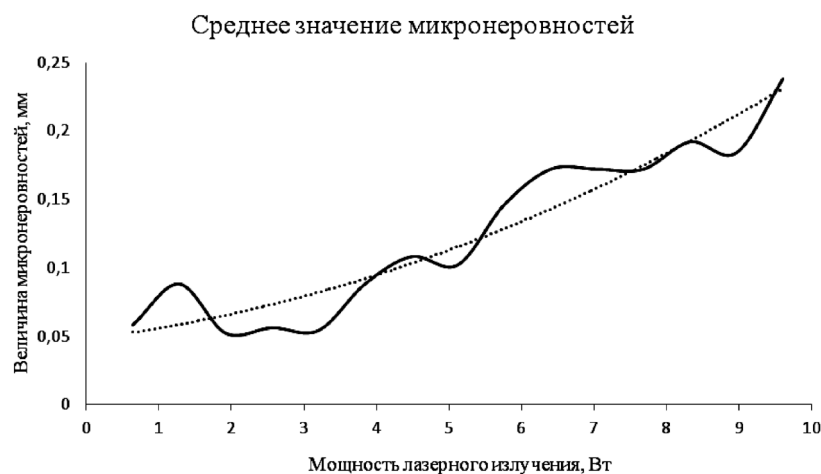


Рис. 2. Микронеровности древесины.

Тенденция изменения функциональной зависимости аппроксимируется выражением

$$y = 0,0013x^2 + 0,0063x + 0,0484$$



Рис. 3. Среднее квадратическое отклонение.

Тенденция изменения функциональной зависимости аппроксимируется выражением

$$y = -5E-05x^4 - 0,0003x^3 + 0,0037x^2 - 0,0251x + 0,0508$$



Рис. 4. Коэффициент корреляции.

Тенденция изменения функциональной зависимости аппроксимируется выражением  $y = 0,0024x^5 - 0,0591x^4 + 0,5084x^3 - 1,8423x^2 + 2,5766x - 1,0208$

Из представленных рисунков видно, что с увеличением мощности глубина проникновения лазерного излучения в древесину увеличивается в соответствии с квадратичной зависимостью, микронеровности древесины нелинейно увеличиваются, среднее квадратическое отклонение скачкообразно увеличивается, коэффициент корреляции совершает колебательные движения около нулевого значения. Это свидетельствует о том, что количество ступеней выбрано с превышением.

Принимаем во внимание, что при лазерном воздействии на древесину происходит термический процесс разделения, напоминающий процесс горения. При этом выделяются три области. В первой начинается нагрев участка материала от внешнего источника энергии и начинается медленное и постепенное обугливание и выгорание материала. Во второй – материал достаточно прогревается и начинается активное термическое разложение на газообразные составляющие и на поверхности появляется обугливающийся слой, выгорание ступенчато увеличивается. В третьей – при дальнейшем нагреве, раз-

ложение материала на газообразные составляющие усиливается и происходит воспламенение. Вспышка происходит в объеме лазерного луча на границе с материалом, и возникнет светло-желтое пламя, обугливание и выгорание резко увеличиваются. Температура воспламенения в момент вспышки горючих газов колеблется в сравнительно небольших пределах – от 250 до 300 °С. При температуре вспышки горючих газов становится теоретически возможным процесс воспламенения и горения самого материала, но поскольку поступление энергии от внешнего источника в этой точке прекращается, вспышка угасает, и воспламенения не происходит. Исходя из изложенного проведено исследование для пяти ступеней изменения мощности лазерного излучения при лазерном гравировании. Среднее значение микронеровностей – на рис. 5, среднее квадратическое отклонение – на рис. 6 и коэффициент корреляции – на рис. 7. На приведенных рисунках наглядно видно, что характер изменения функциональных зависимостей стал более линейным, что увеличивает предсказуемость получаемых результатов, повышает объективность оценки.

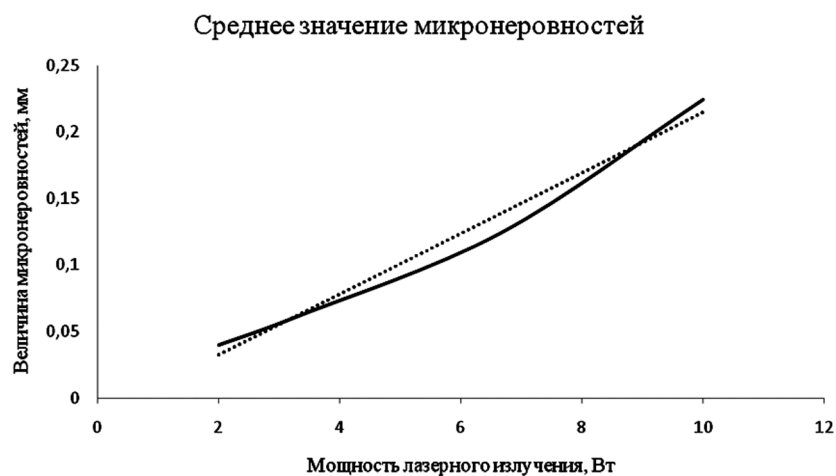
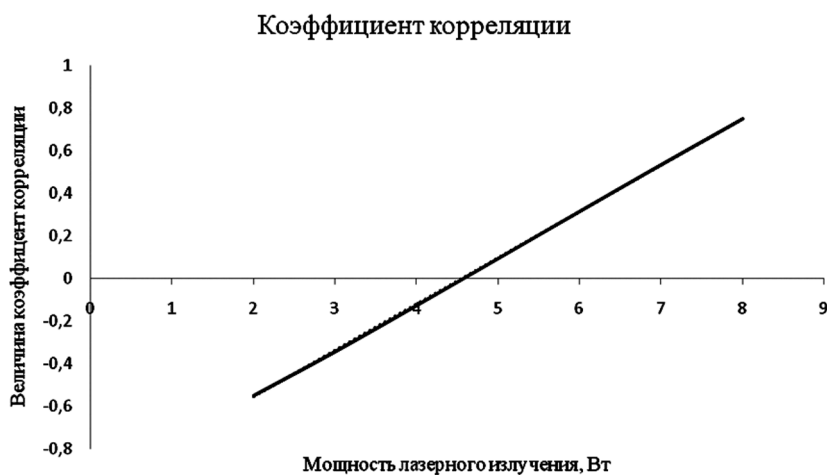


Рис. 5. Среднее значение микронеровностей.

Тенденция изменения функциональной зависимости аппроксимируется выражением  $y = 0,0228x - 0,0128$



*Рис. 6.* Среднее квадратическое отклонение.  
Тенденция изменения функциональной зависимости аппроксимируется выражением  
 $y = 0,0024x + 0,0002$

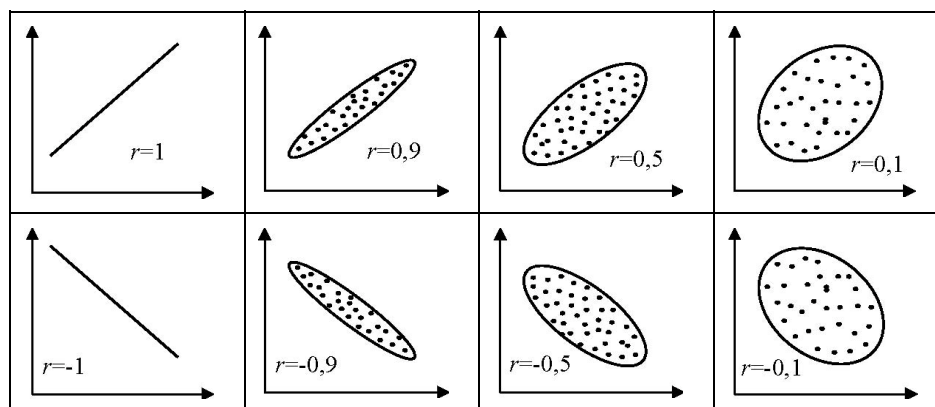


*Рис. 7.* Коэффициент корреляции.  
Тенденция изменения функциональной зависимости аппроксимируется выражением  
 $y = 0,2174x - 0,9898$

Корреляционные поля при различных значениях коэффициента корреляции приведены на рис. 8 [10].

В результате проведенных исследований показано, что подбор оптимальных режимов лазерного гравирования древесины позволяет уменьшить коли-

чество ступеней без ухудшения эстетических характеристик, повысить линейность изменения микронеровностей поверхности. Оптическая плотность ступеней приведена в табл. 2.



*Рис. 8.* Корреляционные поля при различных значениях коэффициента корреляции

Таблица 2. Мощность лазерного излучения

№ п/п	1	2	3	4	5
Мощность лазерного излучения, Вт	0	0,64	3,2	6,4	9,6

В дальнейшем планируется провести исследования для других органических и неорганических материалов.

#### Библиографические ссылки

1. Материалы в приборостроении и автоматике : справочник / под ред. Ю. М. Пятина. – М. : Машиностроение, 1982. – 528 с.

2. Степанов Б. А. Материаловедение для профессий, связанных с обработкой дерева : учебник. – М. : Академия, 2000. – 328 с.

3. Борисов И. Б. Обработка дерева. – М. : Феникс, 2000. – 195 с.

4. Ветошкин Ю. И., Старцев В. М., Задимидько В. Т. Деревянные художества : учеб. пособие. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2012.

5. Сафроненко В. М. Секреты древесины. – М., 2004.

6. Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. Технические процессы лазерной обработки. / ред. А. Г. Григорьянц. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 663 с. : ил.

7. Амалицкий В. В., Амалицкий В. В. Деревообрабатывающие станки и инструменты : учебник для сред. проф. образования. – М. : Академия, 2002. – 400 с.

8. ГОСТ 24930–81. Клип полутоновой для факсимильной аппаратуры. – М. : Изд-во стандартов. 1981. – 5 с.

9. Usoltseva A. V. The laser engraving in decorative processing of organic glass. Instrumentation engineering, electronics and telecommunications – 2015: Paper book of the I International Forum IEET-2015 held within the framework of the XI International Scientific-Technical Conference “Instrumentation Engineering in the XXI Century. Integration of Science, Education and Production” (November, 25–27, 2015, Izhevsk, Russia). – Izhevsk: Publishing House of Kalashnikov ISTU, 2016. – 190–194 p.

\*\*\*

*V. A. Alekseev*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU

*A. V. Usoltseva*, Applicant, Kalashnikov ISTU

*V. P. Usoltsev*, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU

#### Investigation of Surface Quality of Industrial Products Made of Wood at Laser Engraving

*Investigations are carried out for experimental choice of operation modes for laser equipment in order to increase the surface quality of industrial products made of wood at laser engraving.*

**Keywords:** surface, texture, engraving, laser equipment.

Получено: 02.12.16