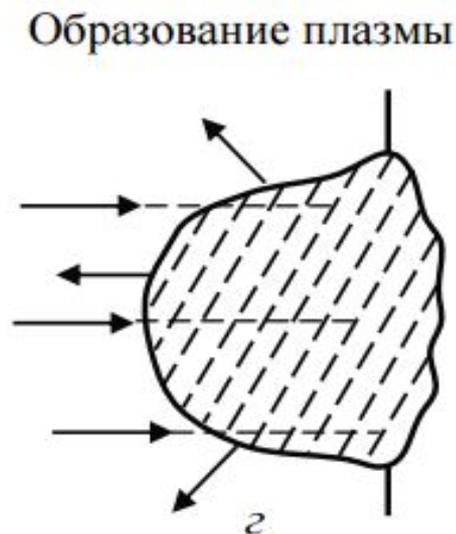
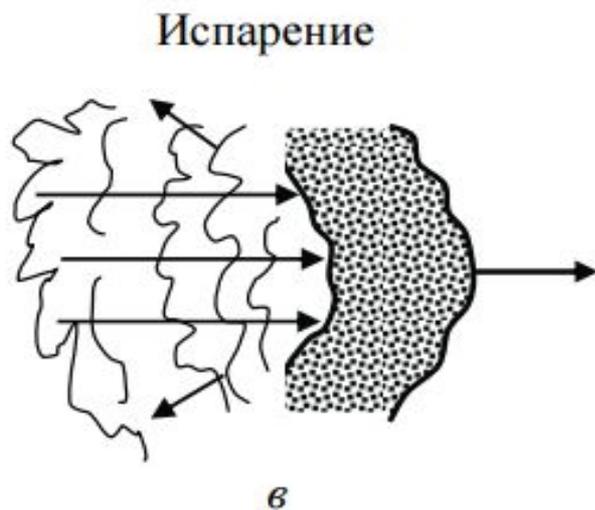
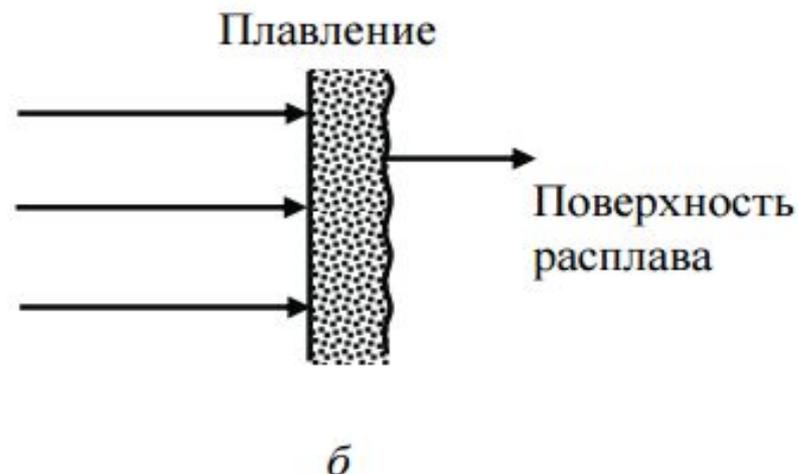
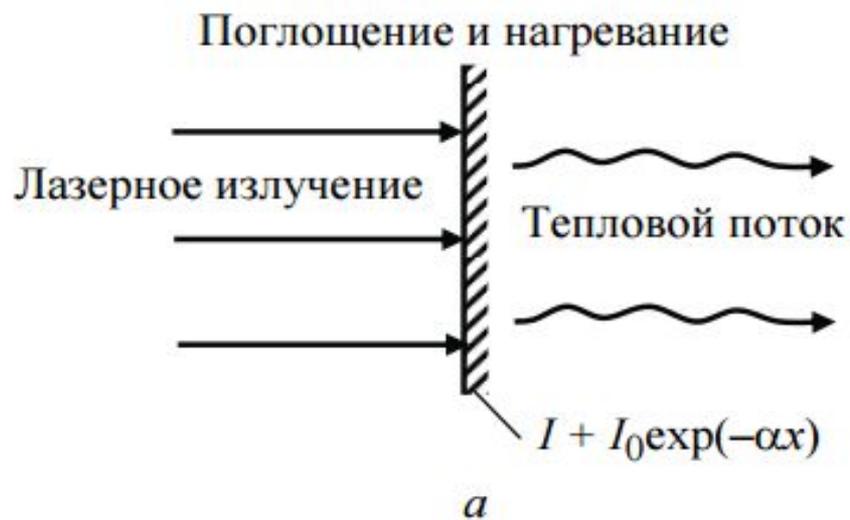


ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Основные физические процессы лазерной обработки



Закон Бугера-Ламберта

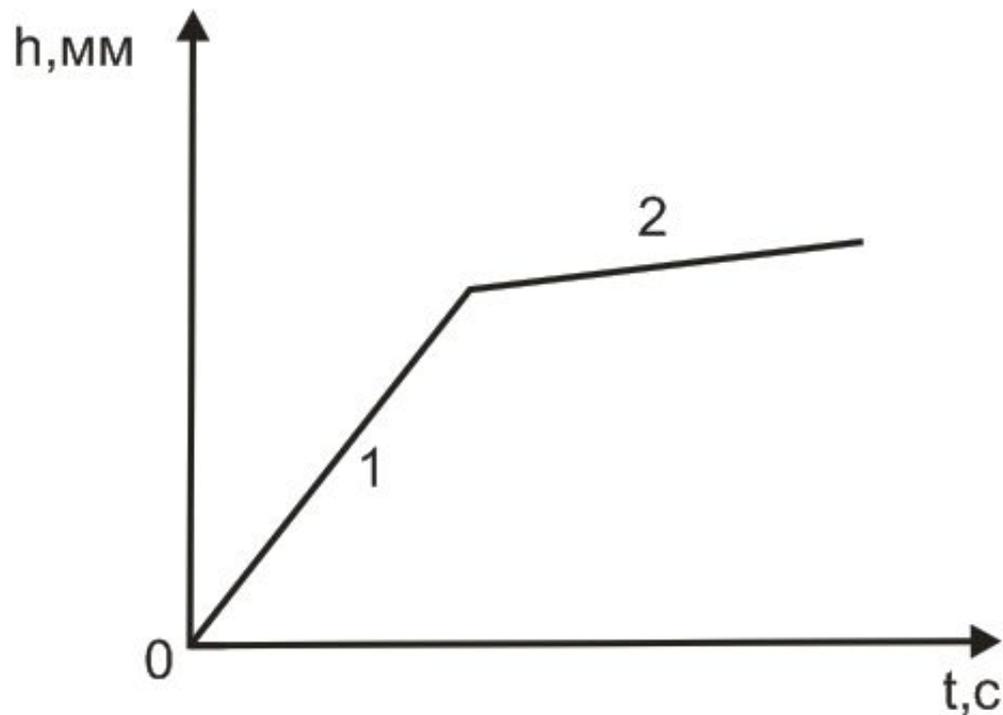
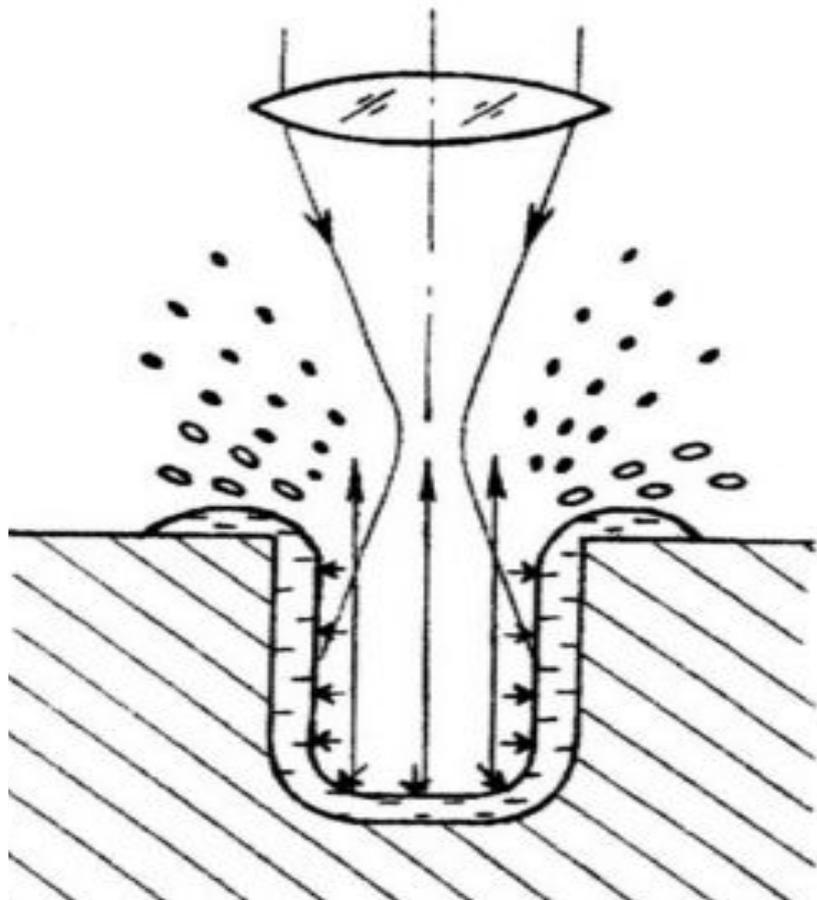
$$I(x) = I_0 \exp(-ax), \text{ где:}$$

- $I(x)$ – интенсивность лазерного излучения, проникшего в материал на глубину x ;
- I_0 – интенсивность падающего на объект лазерного излучения;
- a – показатель поглощения.

При лазерной обработке могут происходить следующие эффекты:

- испарение обрабатываемого материала,
- абляция вещества самого материала или загрязняющих веществ, находящихся на его поверхности (*удаление (испарение) вещества с поверхности при воздействии лазерного излучения*),
- размягчение для формообразования в нагретом состоянии,
- лазерное химическое травление для обработки тонких пленок и поверхности электронных материалов в микроэлектронике,
- лазерное послойное наращивание (синтез).

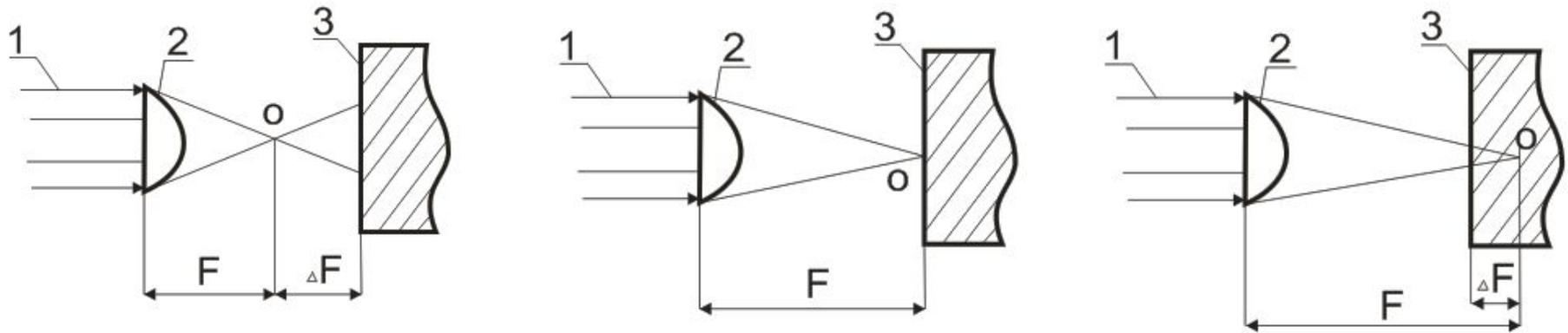
Испарение материала, сопровождающееся образованием жидкой фазы



1- фаза линейного роста отверстия со временем;

2- фаза замедления скорости увеличения глубины отверстия.

Расположение фокуса фокусирующей линзы



а) над поверхностью

б) на поверхности

в) внутри заготовки

1 – лазерное излучение; 2 – фокусирующая линза; 3 – заготовка; O – фокусное пятно

Наименьший теоретически возможный диаметр лазерного луча на поверхности материала (d), можно рассчитать по формуле:

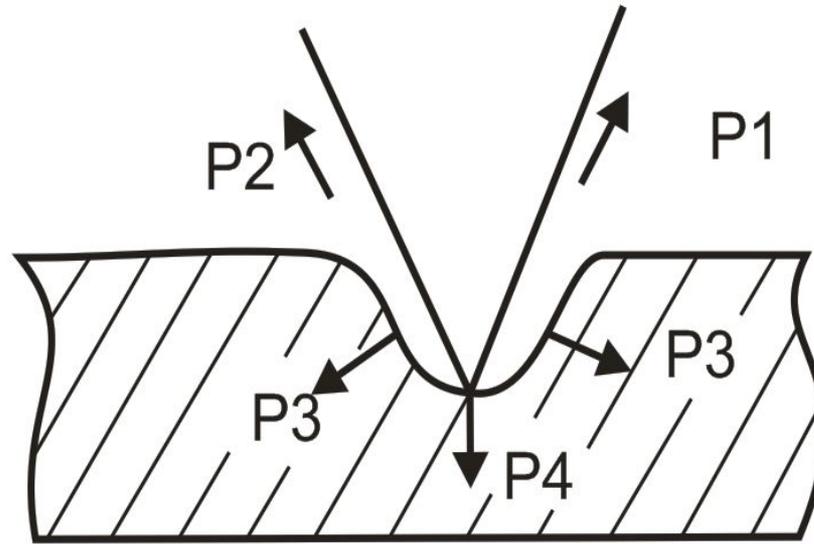
$$d = 2,26 \frac{\lambda F}{D}$$

λ – длина волны монохроматического излучения;

F – фокусное расстояние

D – диаметр входного отверстия объектива

Энергетический баланс излучения, падающего на поглощающую среду



$$Q = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, \text{ где:}$$

P_1 – энергия, идущая на отражение и рассеивание;

P_2 – энергия, идущая на тепловое излучение;

P_3 – энергия, отводимая за счет теплопроводности на нагрев материала;

P_4 – энергия, расходуемая на фазовые превращения.

Особенности лазерного излучения

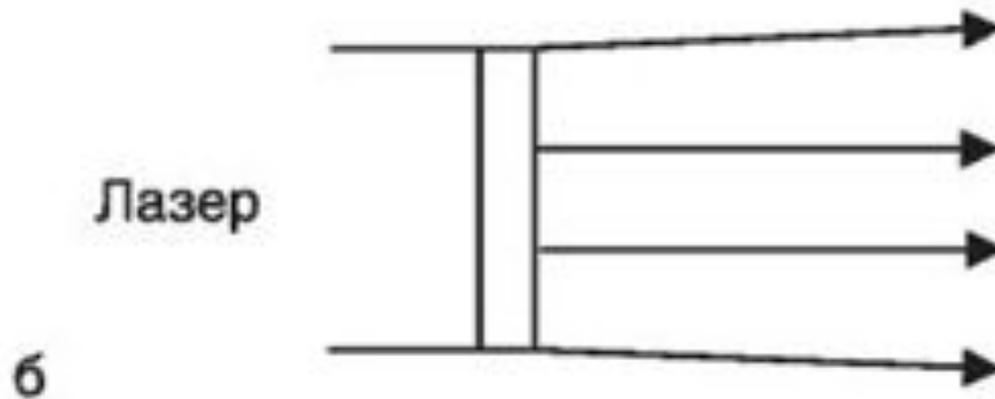
1. Когерентность



Разность фаз в двух точках плоскости, перпендикулярной направлению распространения, сохраняется постоянной

Особенности лазерного излучения

2. Коллимитированность



Все лучи в пучке почти параллельны друг другу

Особенности лазерного излучения

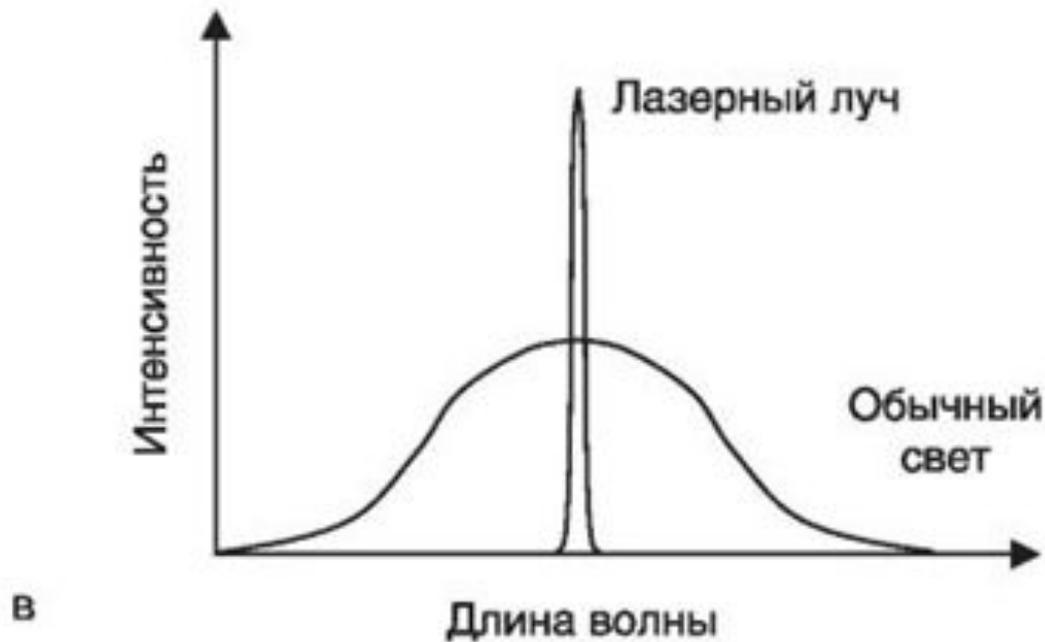
3. Монохроматичность



Лазерное излучение содержит волны практически одинаковой частоты (ширина спектральной линии составляет $\Delta\lambda \approx 0,01$ нм)

Особенности лазерного излучения

3. Монохроматичность



Лазерное излучение содержит волны практически одинаковой частоты (ширина спектральной линии составляет $\Delta\lambda \approx 0,01$ нм)

4. *Высокая мощность.*

До 10^5 Вт в непрерывном режиме. Мощность импульсных лазеров на несколько порядков выше.

5. *Высокая интенсивность.*

В импульсных лазерах интенсивность лазерного излучения может достигать $I = 10^{14}-10^{16}$ Вт/см² (ср. интенсивность солнечного света вблизи земной поверхности $I = 0,1$ Вт/см²).

6. *Высокая яркость.*

7. *Давление (Д).*

$D = I/c$, где I -интенсивность излучения (Вт);

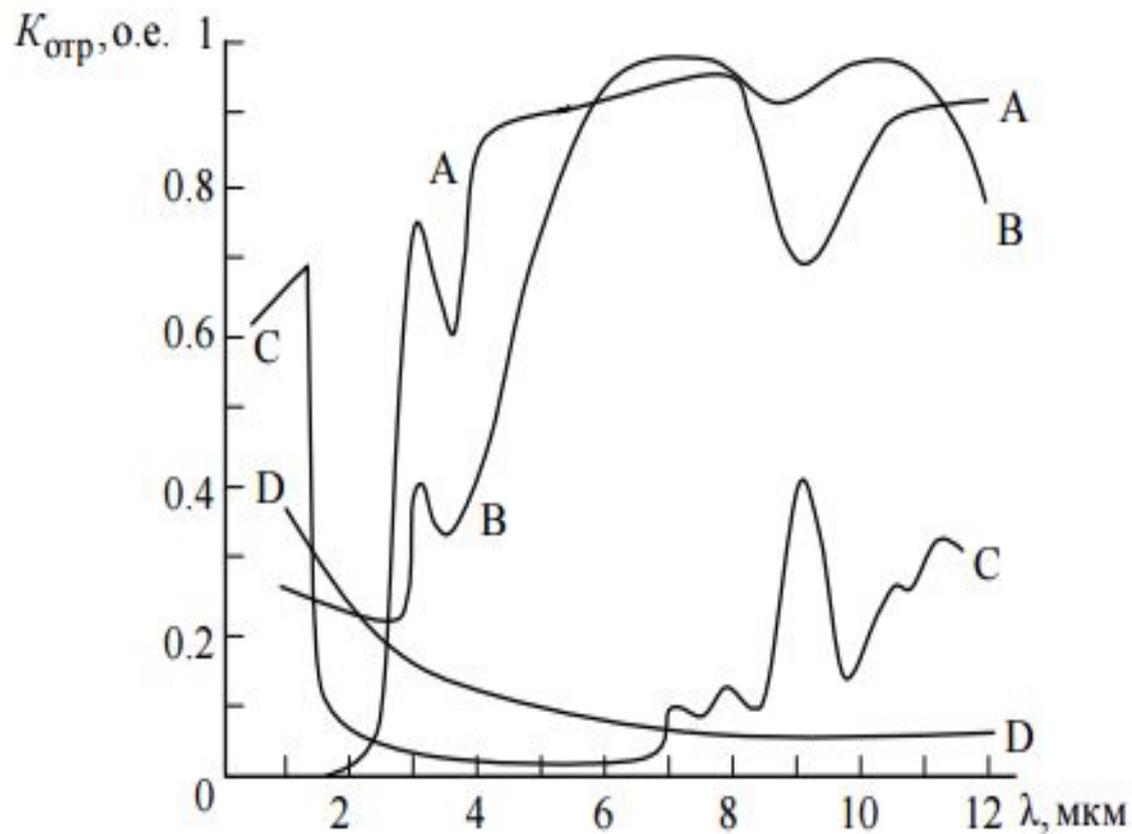
c - скорость света в вакууме (м/с²).

8. *Поляризованность.*

Параметры лазеров, требуемые для обработки материалов

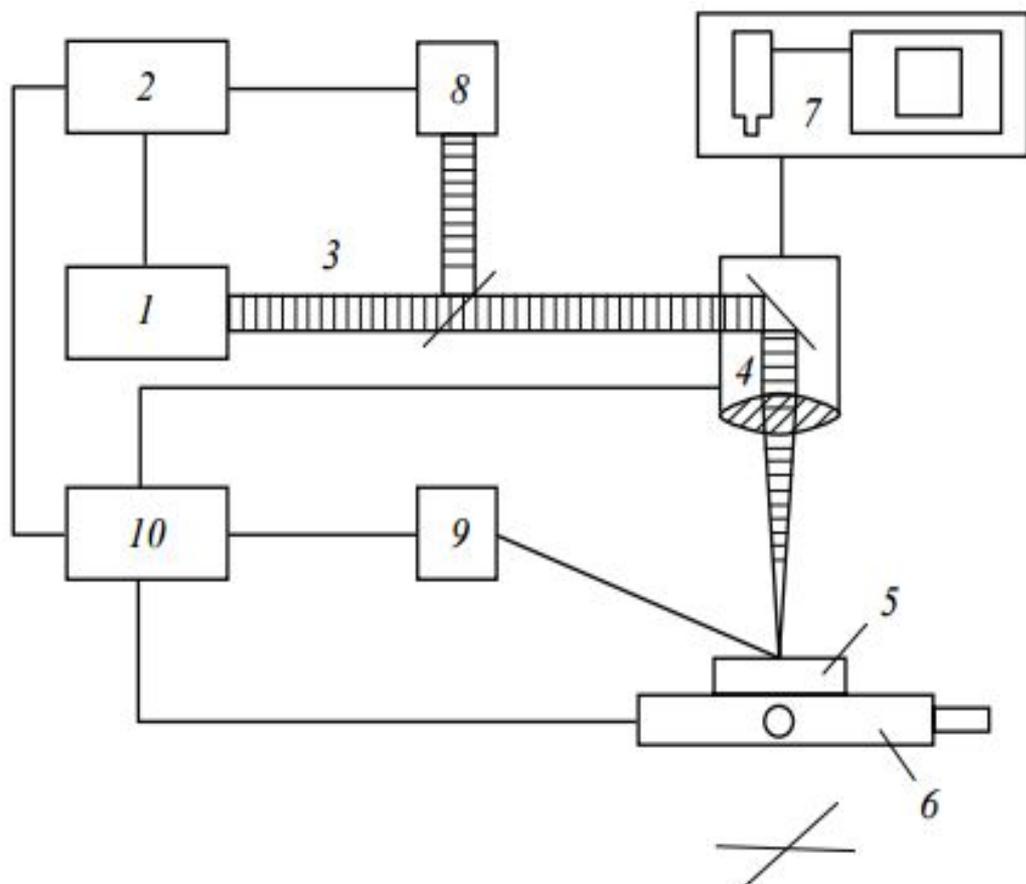
- мощность излучения P ;
- длина волны λ ;
- длительность импульса τ ;
- частота следования импульсов f ;
- пространственные характеристики модовой структуры излучения;
- расходимость пучка α .

Зависимость коэффициента поглощения лазерного излучения от длины волны для различных материалов



А – стекло;
В – глиноземная керамика;
С – кремний;
D – железо

Функциональная схема лазерной установки для обработки материалов



- 1 – лазерный излучатель;
- 2 – блок питания лазера;
- 3 – пучок лазерного излучения;
- 4 – фокусирующую оптическую систему;
- 5 – обрабатываемую деталь;
- 6 – координатный стол;
- 7 – систему визуального контроля зоны лазерной обработки;
- 8 – систему контроля параметров лазера;
- 9 – систему контроля технологического процесса;
- 10 – микропроцессор.

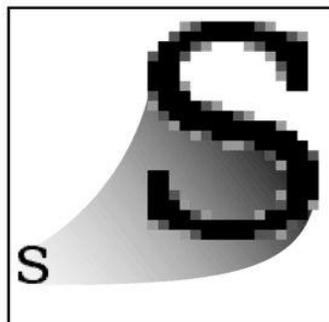
Возможности лазерного гравирования и маркирования

Глубина маркирования – до 0,5 мм, гравирования – до 3,5 мм

Гравирование

Растровое

Изображение формируется путем нанесения последовательных линий (строк) состоящих из точек



Raster
.jpeg .gif .png



Векторное

Изображение формируется путем контурной обводки тонкими линиями



Vector
.svg



Преимущества лазерного гравирования

- бесконтактность – отсутствуют износ и повреждения изделия;
- практически полное отсутствие нагрева гравированного изделия и его коробления;
- высокая скорость и производительность гравирования;
- возможность нанесения изображений на собранные изделия без их разборки;
- возможность нанесения текстов или сложных рисунков на предметы любой конфигурации;
- получение изображения с высокой разрешающей способностью;
- идентичность изображения при его тиражировании;
- стойкость и долговечность изображения;
- эстетичность изображения;
- не требуется финальная обработка.

Получение цветных пленок на поверхности металлов

Виды пленок: оксидные, нитридные

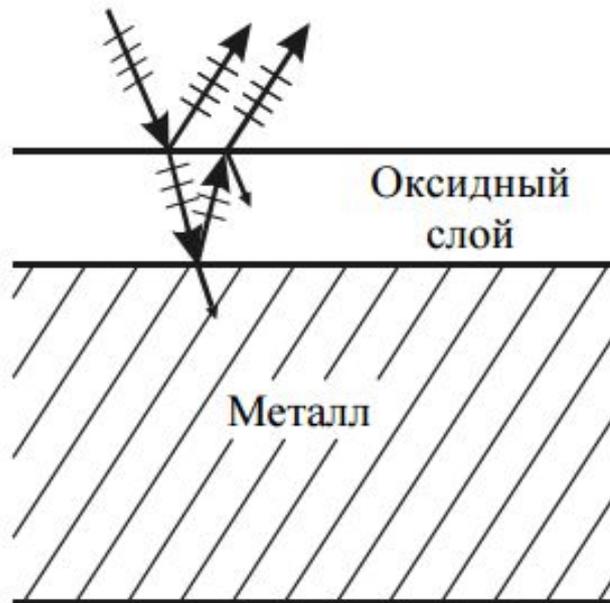
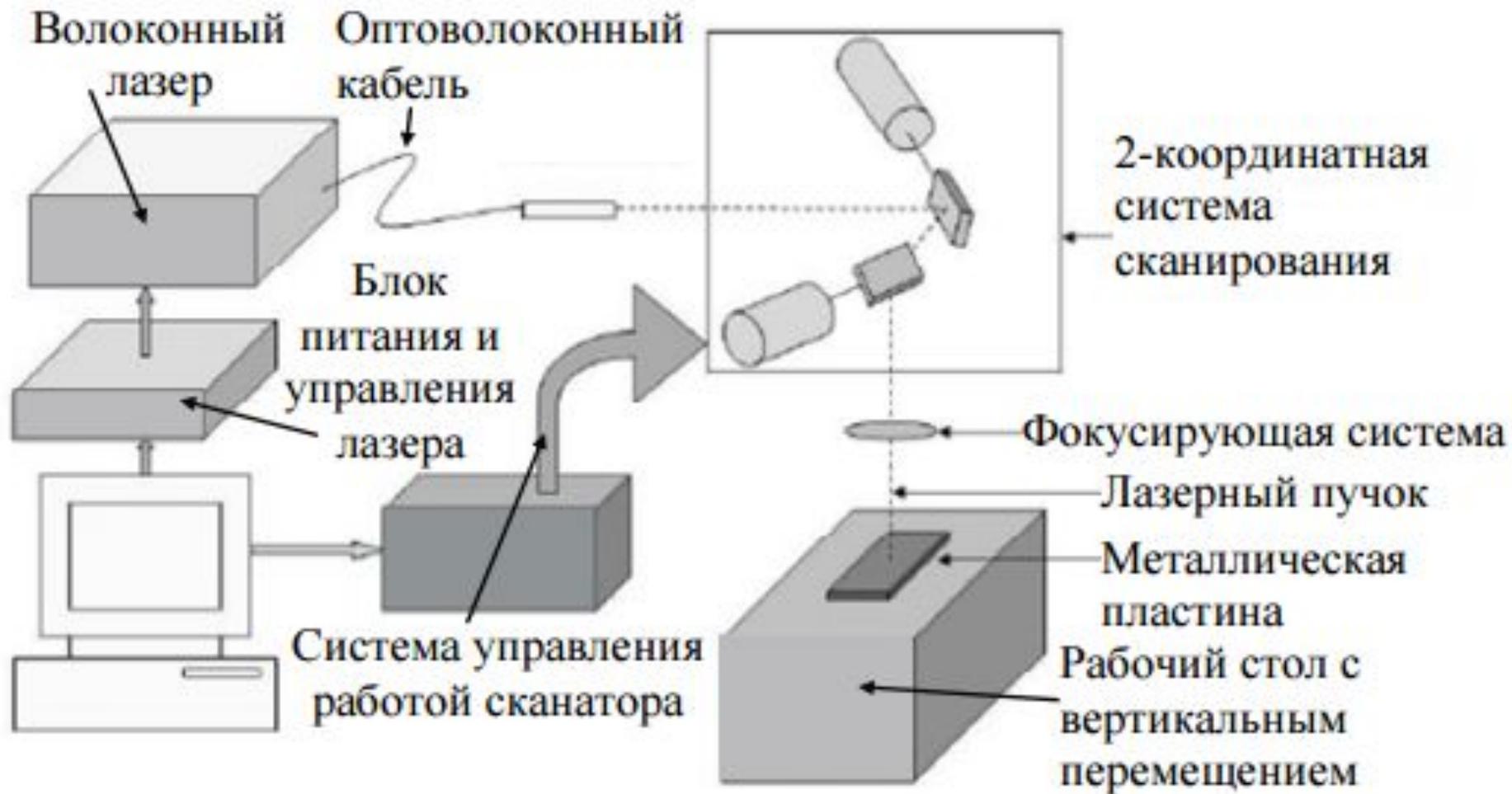


Схема возникновения эффекта цветности пленки в результате интерференции цвета

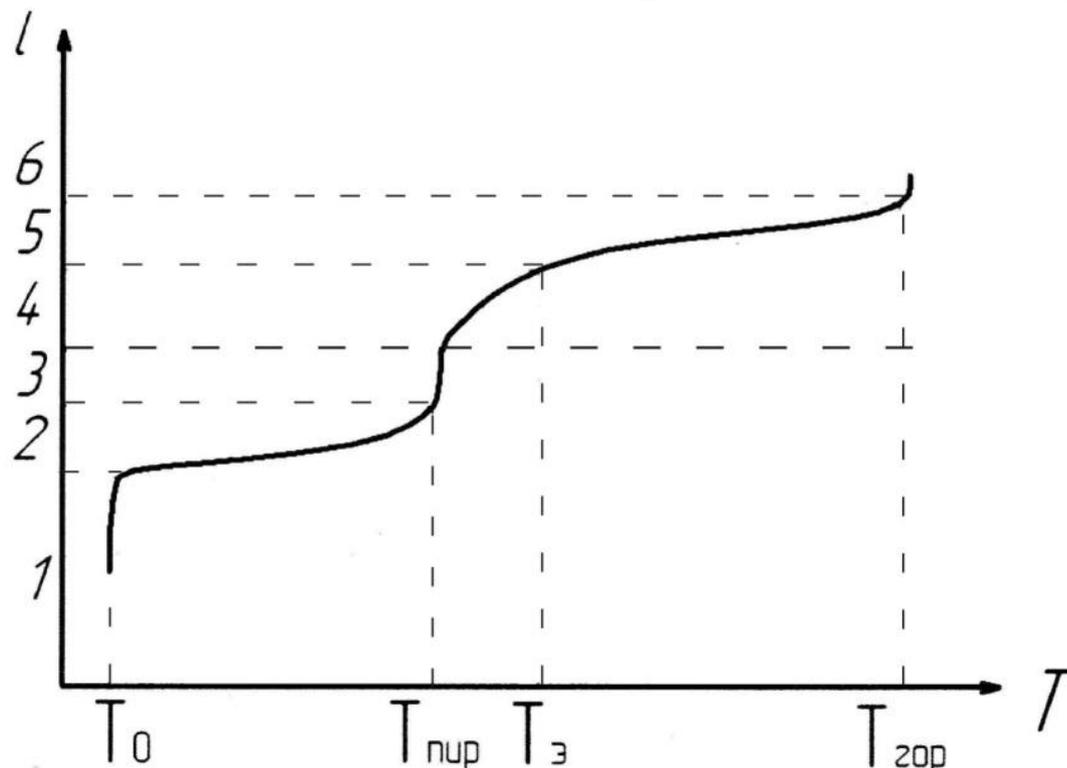
Образцы изображений



Оптическая схема лазерной установки для создания цветных пленок на поверхности металлов

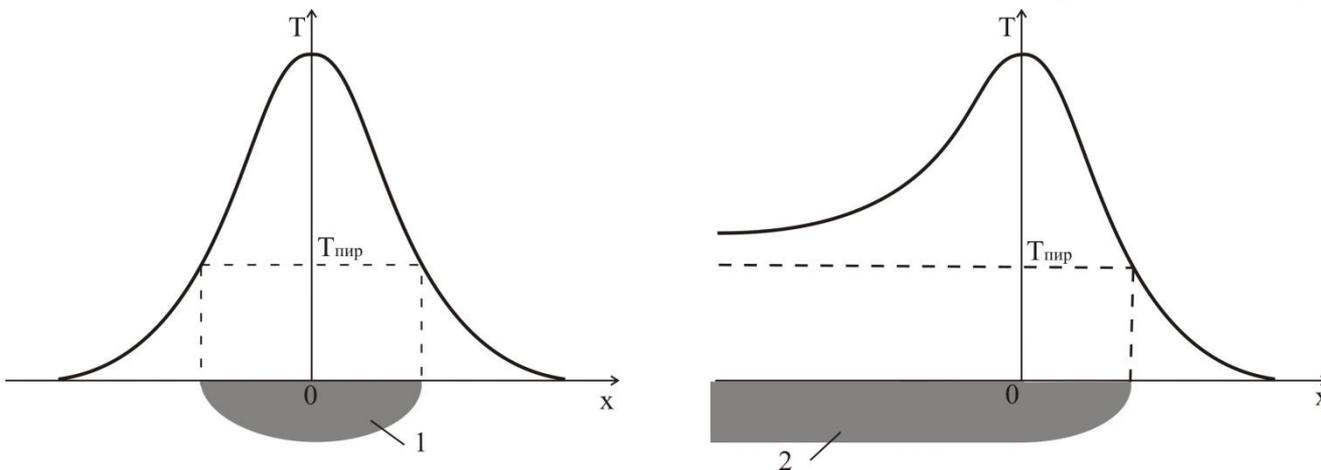


Гравирование тональных изображений на древесине



Процессы, протекающие в древесине при температурном воздействии: 1 – зона исходного материала, 2 – зона предварительного нагрева материала до температуры физико-химических превращений, 3 – зона фазового перехода, в которой происходит разложение материала, 4 – зона образования горючей смеси и ее нагрев до температуры зажигания, 5 – зона пламени, где выделяется основная часть тепловой энергии и наблюдается максимальная температура, 6 – зона продуктов горения, где продукты реакции смешиваются с холодным воздухом

Распределение температурных полей в зоне воздействия лазерного луча

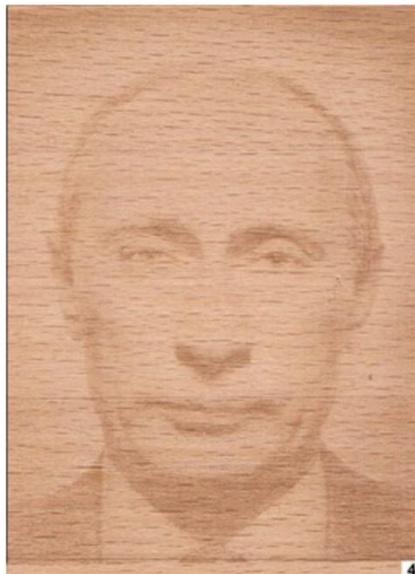


1 – пятно обугливания,
2 – линия обугливания

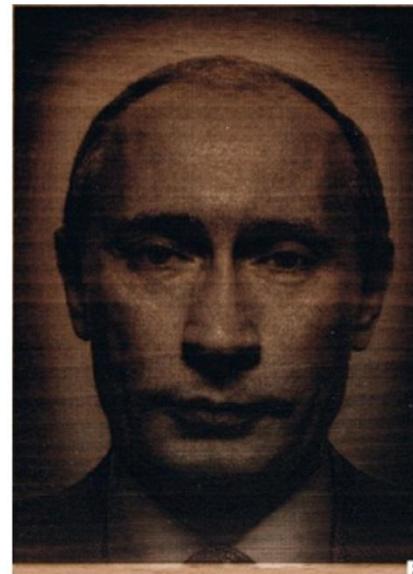
Влияние температуры на качество гравирования



а)



б)



в)

Оригинал портрета (а) и гравировки, выполненные на древесине бука: пересветленная (б) и перетемненная (в), 70x100 мм

Поглощенная плотность энергии

$$W_{\text{пог}} = P_{\text{ср}} \cdot \frac{T}{S} (1 - K_{\text{отр}}), \text{ Вт/см}^2$$

где $P_{\text{ср}}$ – средняя мощность импульсного излучения, Вт;

T – длительность воздействия, сек;

S – площадь облучения, см²;

$K_{\text{отр}}$ – коэффициент отражения древесины на длине волны 10,6 мкм, зависит от светлоты древесины и изменяется в пределах 0,2 ... 0,7.

Измерители импульсных лазеров, используемых для гравирования древесины, показывают значение не средней, а импульсной мощности $P_{\text{им}}$, по которой можно определить среднюю мощность

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{им}} \cdot \tau \cdot f,$$

где $P_{\text{им}}$ – импульсная мощность излучения по показанию измерителя, Вт;

τ – длительность импульса излучения, сек;

f – частота повторения импульсов, Гц.

Полутоновое растрирование

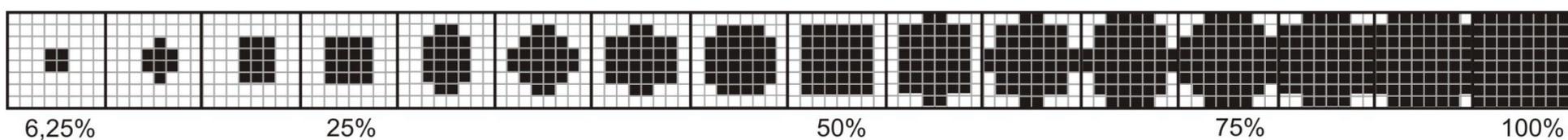
Непрерывная монохромная шкала

Шкала градаций (клин полутоновой для факсимильной аппаратуры ГОСТ 2430-81)



Использование в технологии печати психофизиологической особенности глаза человека – ограниченного разрешения

Линейный растр полутоновых точек ступеней полутонового клина

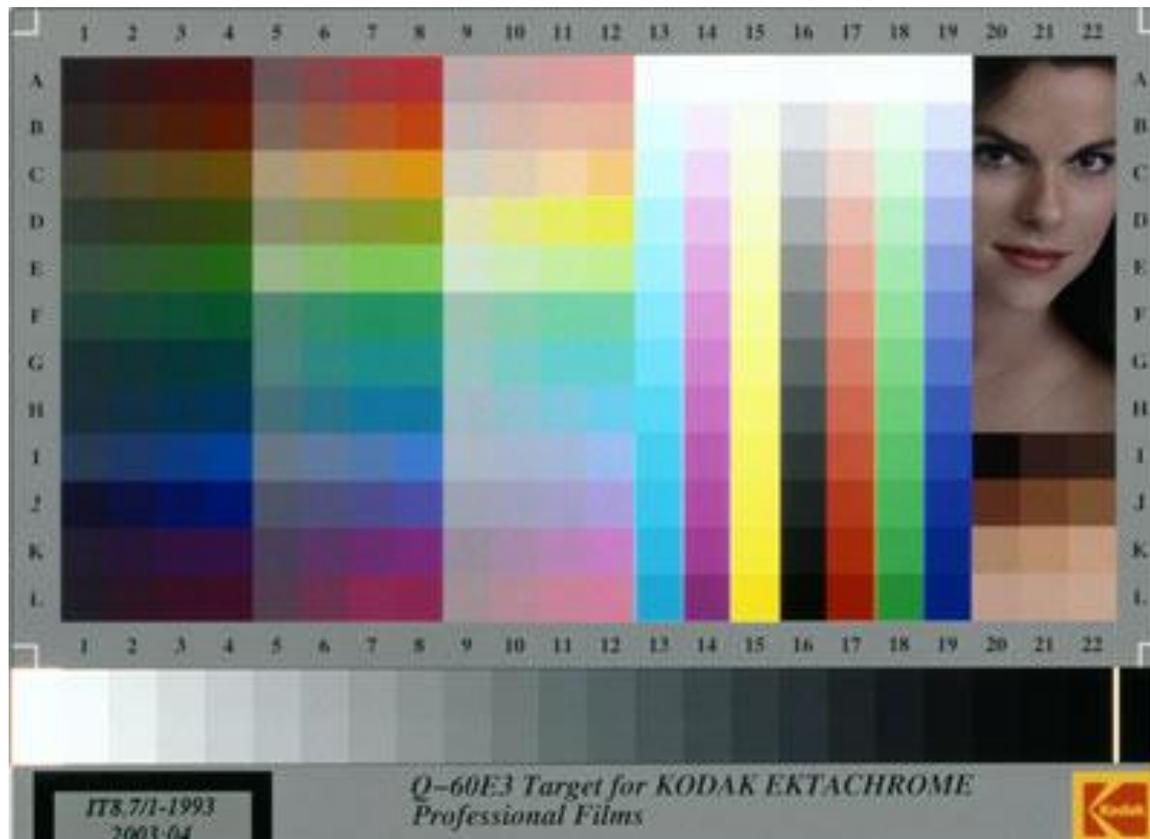


Полутоновое растривание

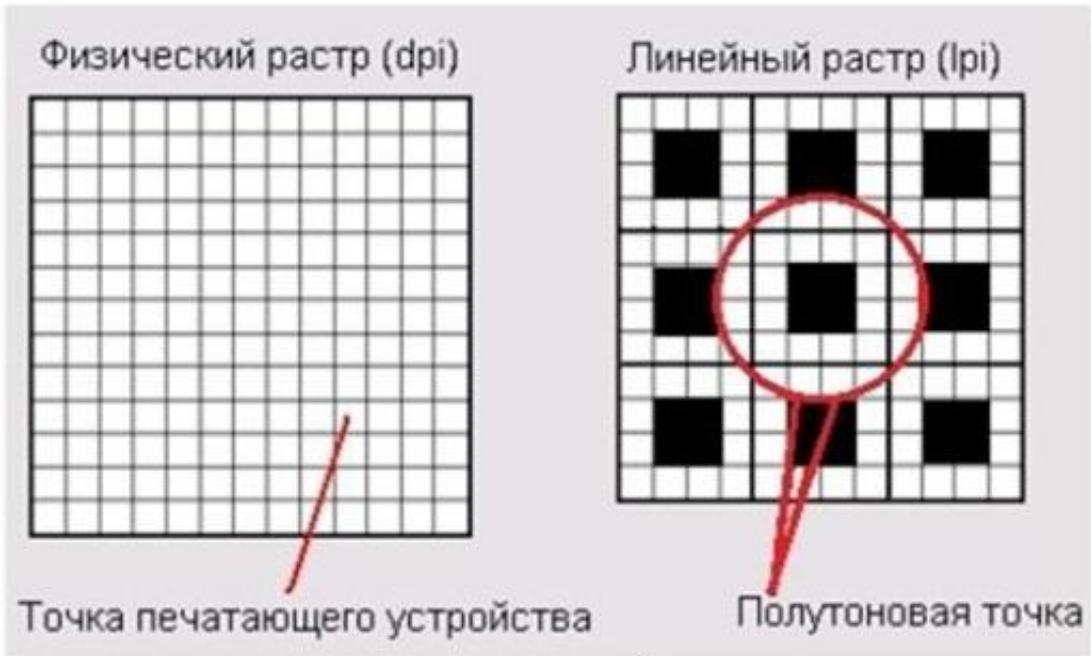
Градация – оттенок одного цвета

Количество участков шкал градаций: 256 – в компьютерной графике, 100 в полиграфии, 22 в тестовой мишени IT8 фирмы Kodak, 15 в клине полутоновом для факсимильной аппаратуры (ГОСТ 2430-81)

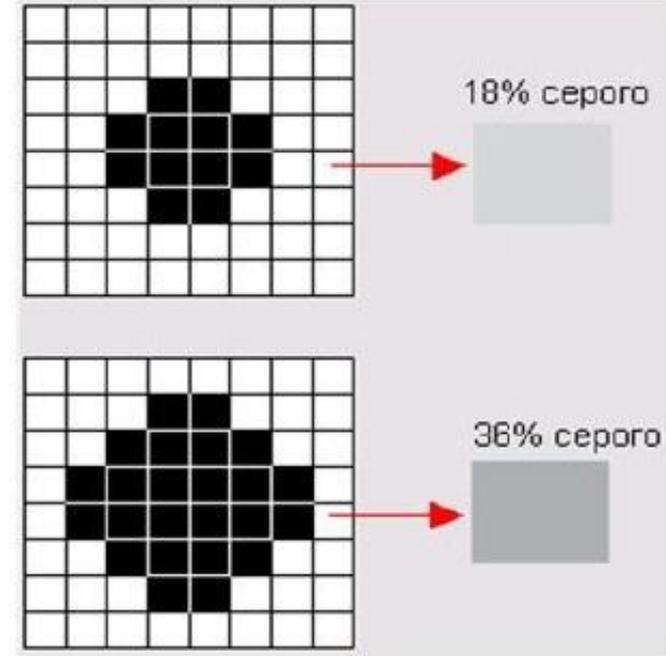
Пример шкал градаций
Тестовая мишень фирмы Kodak



Полутонное растрирование



а)



б)

Полутоновое растрирование

Влияние линиатуры растра на качество изображения



1

300 dpi, 33 lpi



2

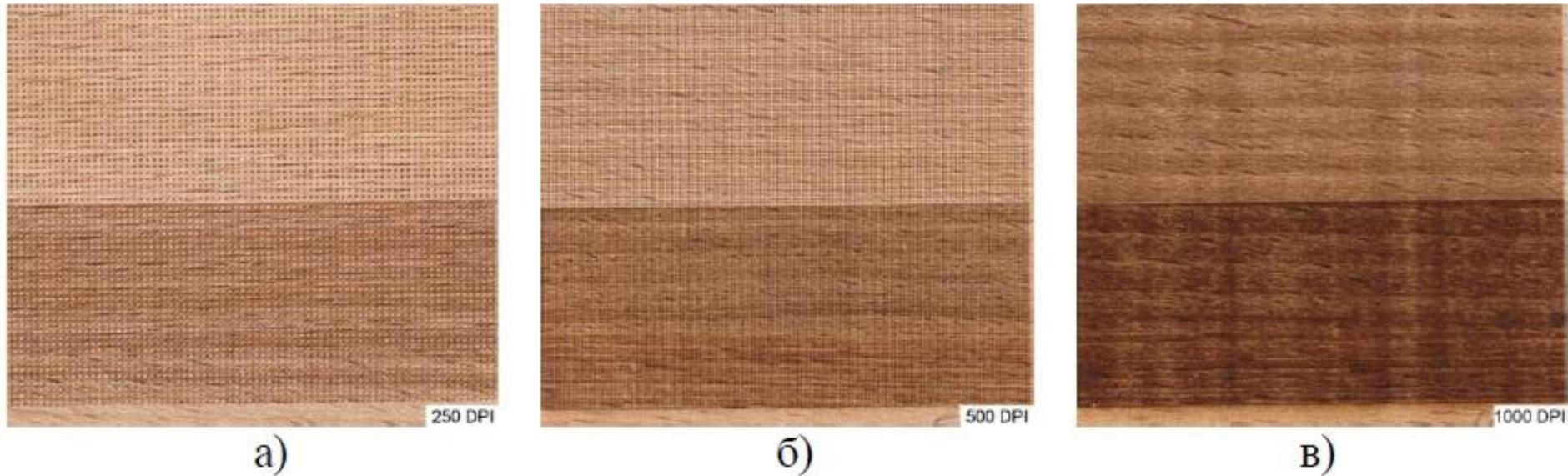
300 dpi, 53 lpi



3

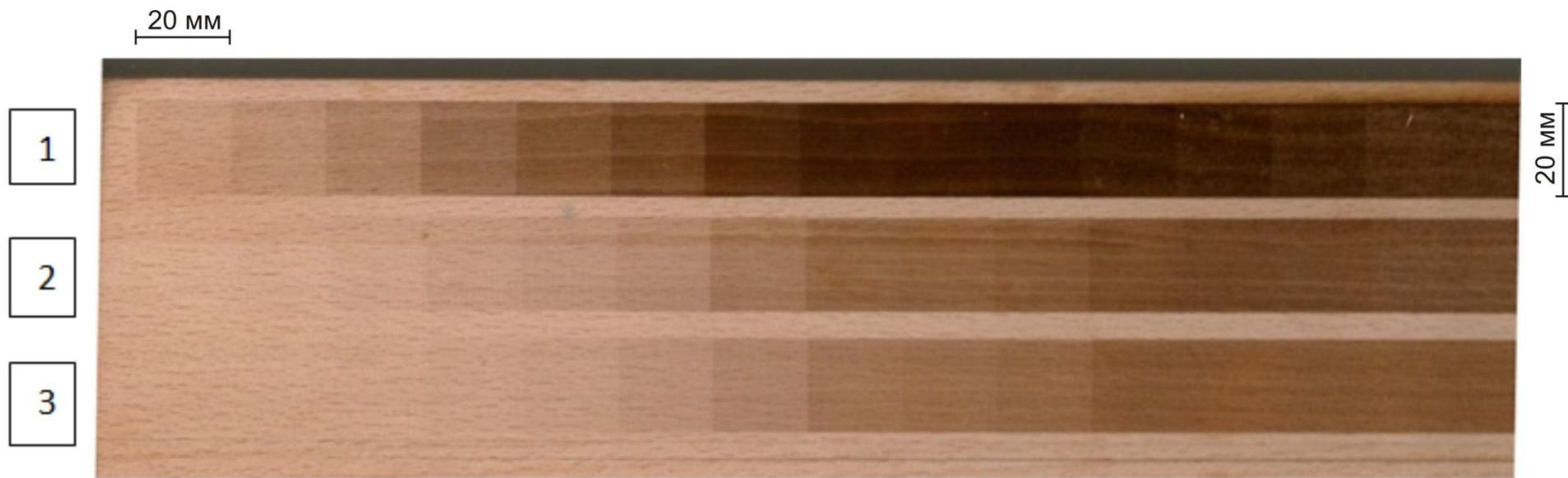
300 dpi, 75 lpi

Влияние разрешения на тон



Картина линейного растра при гравировании образцов из древесины бука при разных значениях разрешения лазера: а) – 250 DPI, б) – 500 DPI, в) – 1000 DPI, 60x60 мм

Влияние тона макета, импульсной мощности и скорости гравирования на тон

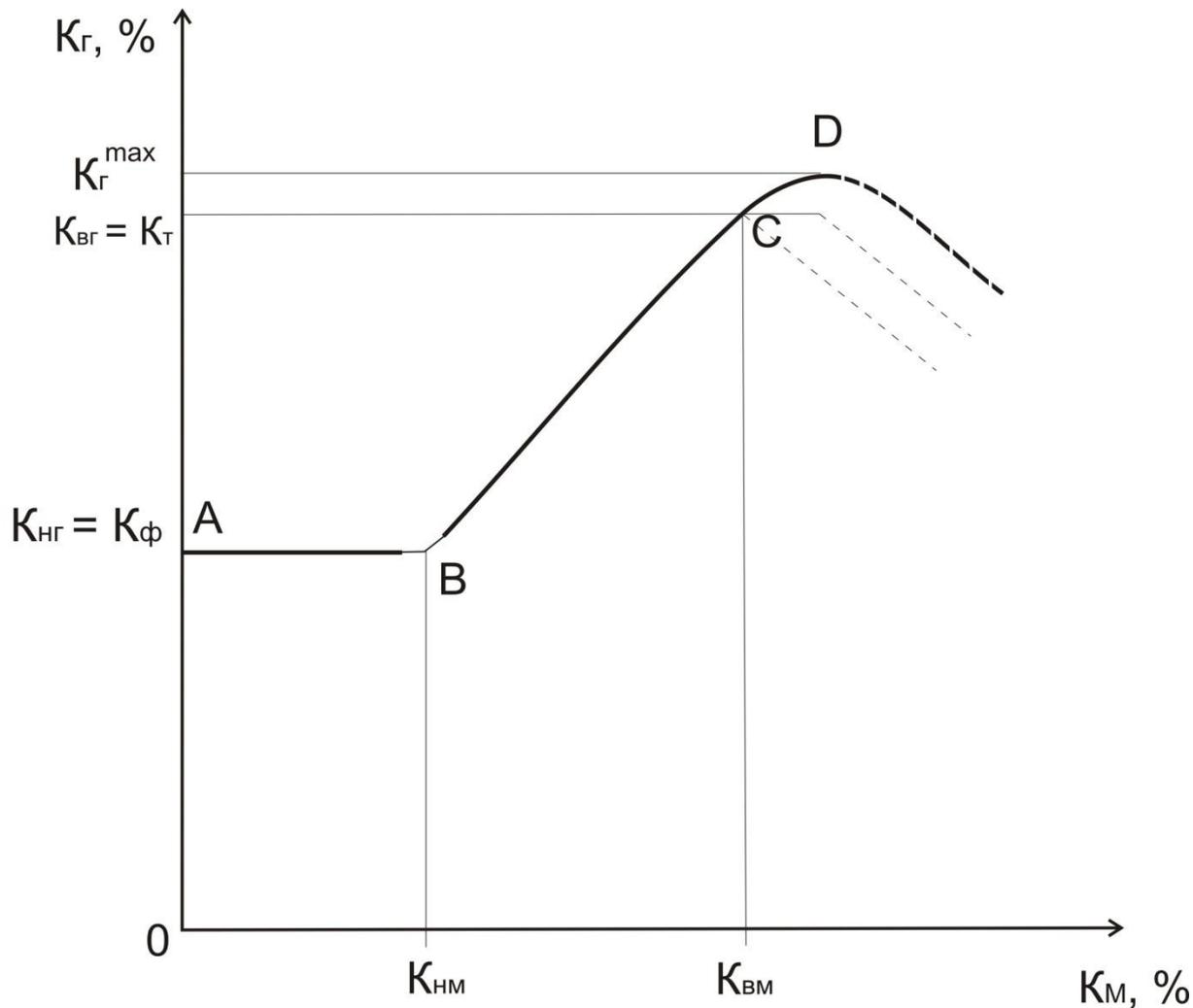


Гравировки полутонного клина на древесине бука при различных значениях импульсной мощности $P_{им}$ и скорости V гравирования:

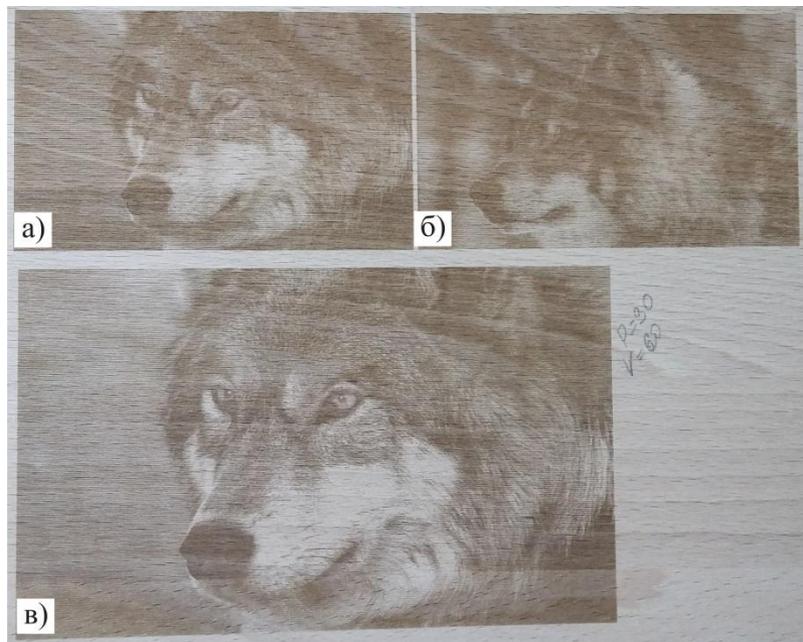
$$1 - P_{им} = 9,6 \text{ Вт}, V = 0,18 \text{ м/с}; 2 - P_{им} = 2,4 \text{ Вт}, V = 0,18 \text{ м/с};$$

$$3 - P_{им} = 9,6 \text{ Вт}, V = 1,08 \text{ м/с}$$

Типовая зависимость насыщенности (процента) черного цвета гравировки от насыщенности (процента) черного цвета макета



Влияние размера изображения и свойств древесины на качество гравировки



Размеры изображений:
а, б – 60 x 100 мм,
в – 95 x 150 мм, бук



Размеры 95x155 мм, бук

Варианты достижения высокого качества гравировки

1. Опытным путем со случайным выбором режимов гравирования выбранного изображения на выбранном материале.

Недостаток – значительные потери материала и времени на опытные образцы. Результат не оптимален.

2. Использование рекомендаций, прилагаемых к приобретаемым лазерам.

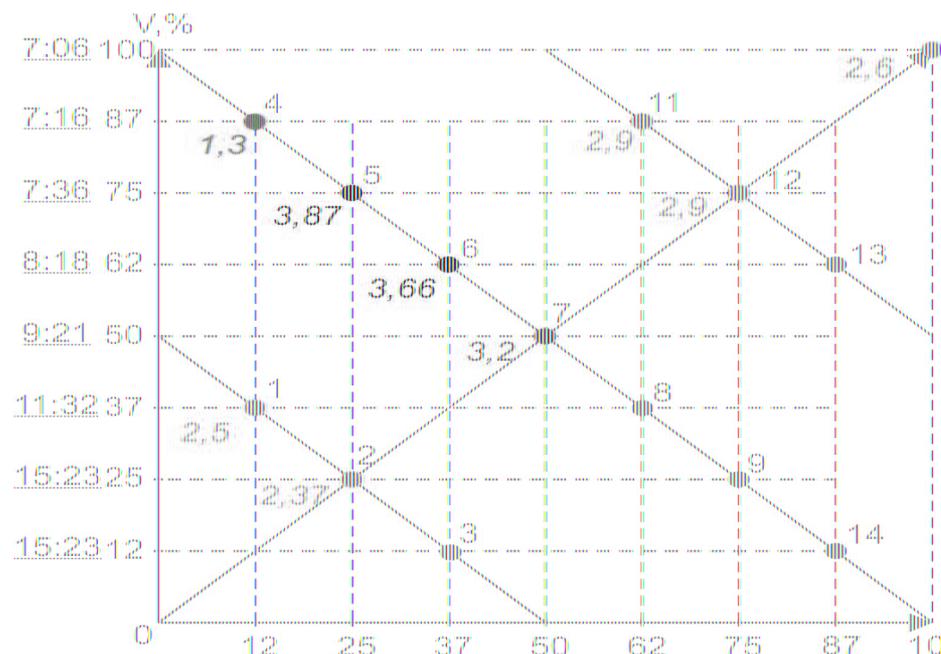
Недостаток – общий характер рекомендаций, широкий диапазон рекомендуемых режимов, не учитываются свойства конкретного материала, для выбора нужного режима необходимы опытные образцы; результат не оптимален.

3. Экспериментальный с привязкой к конкретной породе, системным выбором режимов гравирования и экспертной оценкой гравировок без корректировки макета.

Недостаток – не достигается оптимальный результат из-за колебания свойств внутри породы, высокая трудоемкость исследования.

4. Экспериментальный с предварительным гравированием полутонного клина, сканированием его гравировки и корректировкой макета по результатам сканирования.

Вариант 2. Выбор рационального режима гравирования без корректировки макета



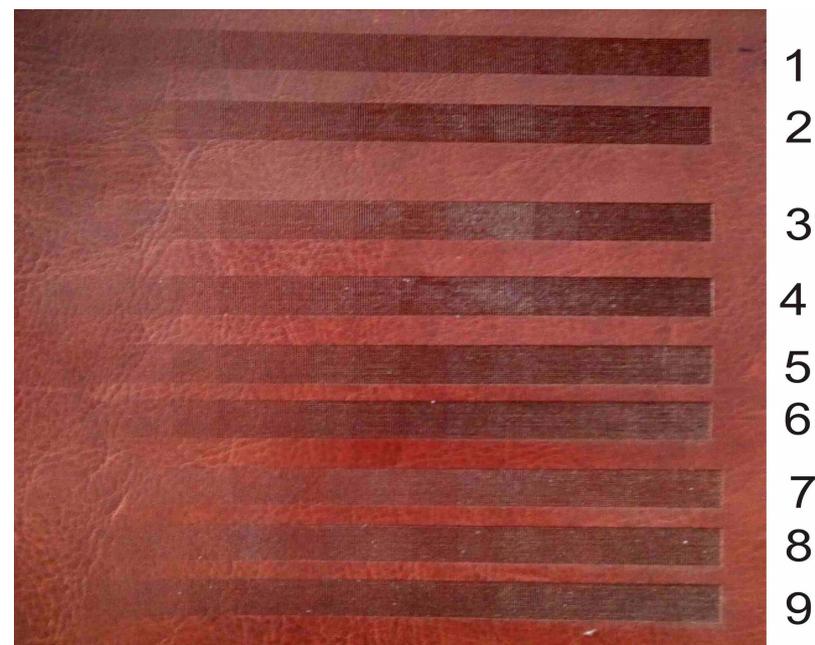
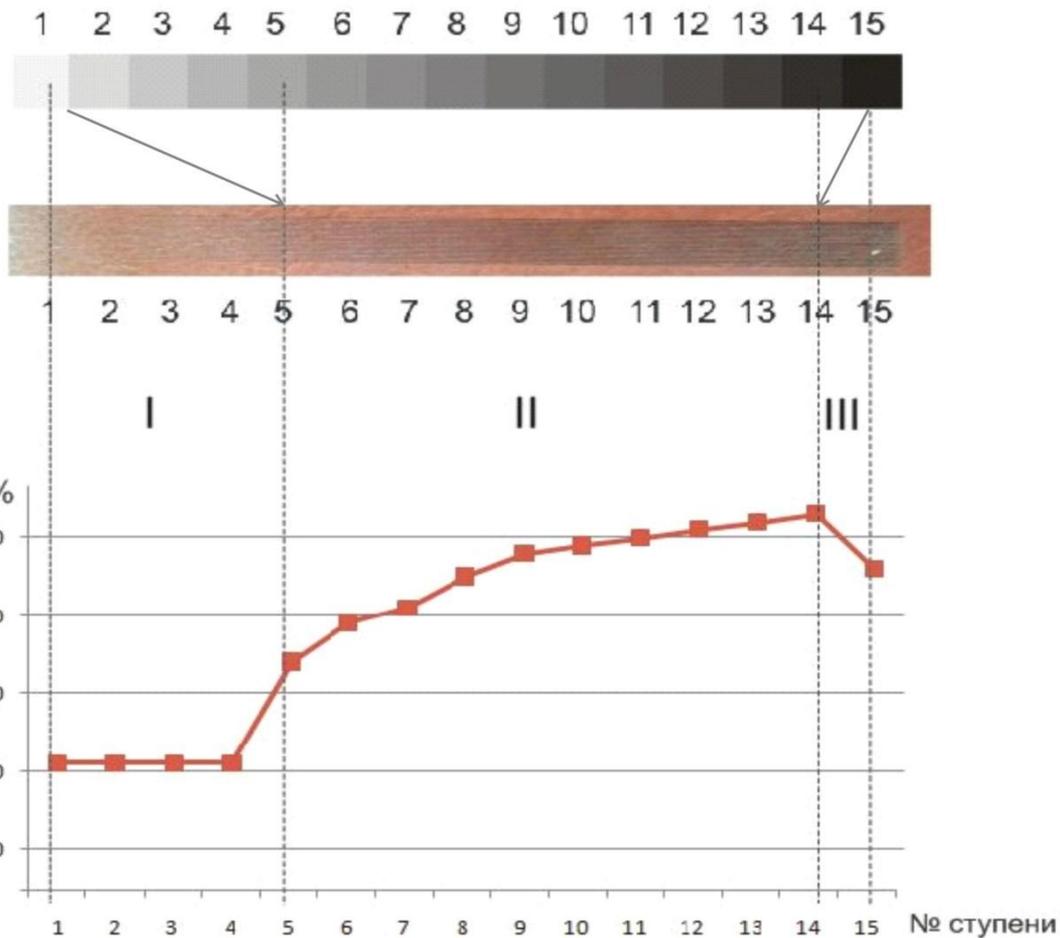
- Отличный результат
- Хороший результат
- Удовлетворительный результат
- Неудовлетворительный результат
- Не принимали участие в опросе

*Курсивом указана средняя экспертная оценка (V)

**Слева от шкалы скорости (V) указано время за скорости 0

$$V^{\max} = 1000 \text{ мм/с}, P_{\text{ил}}^{\max} = 25 \text{ Вт}$$

Вариант 3. Выбор рационального режима гравирования с корректировкой макета (на примере искусственной кожи)



Алгоритм разработки макета

