

УДК 621.9.048.7:621.373.826

## ОПТИМИЗАЦИЯ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОУПРОЧНЕНИЯ НАРУЖНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

С. Ф. КУКИН

(Производственное объединение «Минский тракторный завод», Минск)

*Показана возможность оптимизации и расчета параметров конструкторско-технологических схем лазерного термоупрочнения наружных цилиндрических поверхностей деталей с помощью программного математического пакета C++ Builder 6.*

Эффективность процессов лазерного упрочнения (закалка, легирование и нанесение покрытий) непрерывным лазерным излучением CO<sub>2</sub>-лазеров в значительной степени зависит от его поглощения обрабатываемой поверхностью. Исследованиями авторов [1, 2] установлено, что степень поглощения излучения CO<sub>2</sub>-лазера стальными поверхностями зависит от шероховатости поверхности (с увеличением шероховатости по R<sub>a</sub> от 0,02 до 3,35 поглощательная способность увеличивается с 5,15 до 12,55 %); от вида предварительной поверхностной обработки (полированная поверхность обеспечивает поглощение 5,15...5,25 % лазерной энергии; шлифованная поверхность – 7,45...7,55 % для R<sub>a</sub> 0,21 и 7,70...7,80 % для R<sub>a</sub> 0,28; фрезерованные поверхности – 5,95...6,05 % для R<sub>a</sub> 0,87; 6,35...6,45 % для R<sub>a</sub> 1,1; 8,10...8,25 % для R<sub>a</sub> 2,05; 11,6...12,1 % для R<sub>a</sub> 2,93 и 12,55...12,65 % для R<sub>a</sub> 3,35; пескоструйная обработка – 33,85...34,30 %; нанесение графитового покрытия – 74...76 %).

Кроме того, поглощательная способность поверхности зависит от ее температуры (для полированных металлических поверхностей при изменении температуры от 20 до 800 °С поглощательная способность изменяется соответственно от 5,2 до 10,5 %, для фрезерованных поверхностей – от 12,3 до 21,6 %) и угла падения лазерного луча на обрабатываемую поверхность (максимальное поглощение 50 % для фрезерованной поверхности при комнатной температуре соответствует углу, близкому к 90°).

В связи с вышеизложенным процессы лазерного термоупрочнения (закалки) поверхностей деталей излучением CO<sub>2</sub>-лазеров в традиционном наиболее распространенном варианте производится в следующей последовательности [3]:

- на обрабатываемую поверхность наносится соответствующее поглощающее покрытие;
- направляют пучок лазерного излучения под прямым углом (или близким к прямому) и фокусируют на обрабатываемой поверхности в пятно с требуемой плотностью мощности;
- осуществляют перемещение пятна лазерного пучка по обрабатываемой поверхности (или перемещение обрабатываемой поверхности относительно лазерного пучка) с образованием следов лазерной обработки с требуемой геометрией и плотностью их нанесения.

Необходимость предварительного нанесения поглощающих покрытий и угла падения лазерного луча, близкого к прямому, обусловлена получением максимально возможной в данном случае степени поглощения лазерной энергии обрабатываемой поверхностью примерно 70...80 % и, как следствие, получением приемлемой для целей применения в производстве скорости лазерной обработки.

Новые решения используются в конструкторско-технологических схемах лазерного термоупрочнения поверхностей деталей без поглощающих покрытий авторами [4, 5].

В работах приводится конструкторско-технологическая схема лазерного термоупрочнения поверхностей деталей, где используют искусственно созданные «ловушки» лазерного пучка в виде сужающейся щели, образованной обрабатываемой поверхностью и отражающей поверхностью зеркала. В данной схеме лазерный пучок в процессе многократных отражений поглощается на 70...80 % обрабатываемой поверхностью, а остальная часть составляет потери на отражающем зеркале и рассеивание мощности лазерного излучения в щелевом зазоре между обрабатываемой поверхностью и отражающей поверхностью зеркала.

Для наружных цилиндрических поверхностей деталей аналогичная схема имеет вид, представленный на рис. 1.

Реализация приведенной схемы обработки для каждого конкретного случая требует проведения многофакторного эксперимента по выбору оптимальных значений соответствующих конструкторско-технологических параметров схемы лазерной обработки.

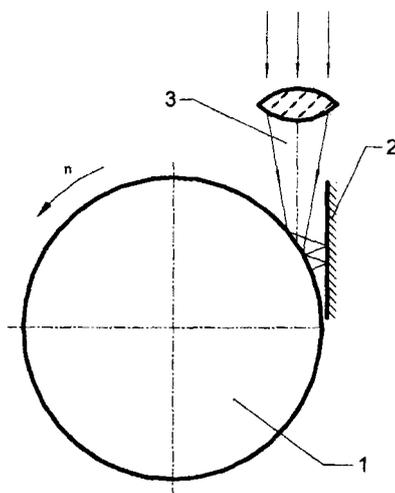


Рис. 1. Конструкторско-технологическая схема лазерного термоупрочнения наружных цилиндрических поверхностей деталей:

1 – деталь; 2 – зеркало; 3 – лазерный пучок

**Цель работы** – оптимизация и расчет конструкторско-технологических параметров схем лазерного термоупрочнения наружных цилиндрических поверхностей деталей математическими методами в среде C++ Builder 6.

Основным условием максимального поглощения энергии лазерного пучка по вышеприведенной схеме является создание таких условий его распространения в сужающемся зазоре между обрабатываемой поверхностью и отражающей поверхностью зеркала, при которых каждый его элементарный луч претерпевает максимально возможное количество актов воздействия на обрабатываемую поверхность, причем в крайней точке воздействия на обрабатываемую поверхность в зоне минимального зазора он должен падать под углом, близким к  $90^\circ$ . Для реализации данной модели предполагалось, что лазерный пучок состоит из  $n$  элементарных лазерных лучей, а распространение их в сужающемся зазоре соответствует законам геометрической оптики. Соответствующие основные конструкторско-технологические параметры модели приведены на рис. 2.

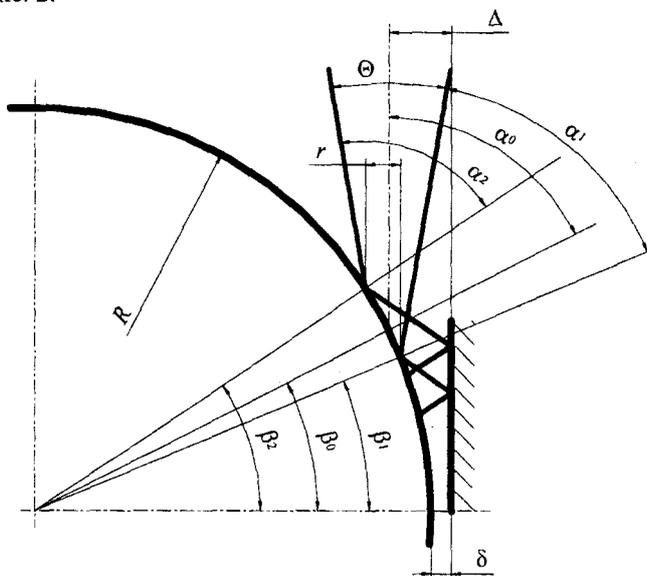


Рис. 2. Основные регулируемые параметры схемы лазерного термоупрочнения наружных цилиндрических поверхностей деталей:

$R$  – радиус кривизны обрабатываемой цилиндрической поверхности детали;

$\theta$  – угол сходимости (расходимости) лазерного пучка;  $\delta$  – минимальное расстояние между обрабатываемой поверхностью и отражающей поверхностью зеркала;  $\Delta$  – расстояние между рабочей поверхностью зеркала и осью падающего на обрабатываемую поверхность лазерного пучка;  $\alpha_0$  – первоначальный угол падения на обрабатываемую поверхность оси лазерного пучка;  $\alpha_1, \alpha_2$  – первоначальные углы падения на обрабатываемую поверхность крайних лучей лазерного пучка;  $r$  – радиус пятна лазерного пучка на обрабатываемой поверхности

На практике лазерное термоупрочнение производится пятном лазерного пучка зонами до фокуса (сходящейся частью) или после фокуса (расходящейся частью). Поэтому оптимизации достаточно подвергнуть центральную часть лазерного пучка (элементарный луч, совпадающий с осью лазерного пучка) и два крайних элементарных луча, определяющих угол сходимости (расходимости) лазерного пучка.

Для этих целей была создана специальная программа в среде C++ Builder 6 (рис. 3), которая оптимизирует параметр  $\alpha$  – угол падения элементарного луча от предварительно заданных параметров –  $R$ ,  $\delta$ ,  $\beta$ ,  $n$  (число воздействий луча на обрабатываемую поверхность). Вначале оптимизируется элементарный луч, расположенный на оси лазерного пучка. Затем, исходя из требуемого радиуса пятна  $r$  пучка на обрабатываемой поверхности (задается из условия получения требуемого ширины следа лазерной обработки), определяют  $\beta_1$  и  $\beta_2$  из следующих выражений:

$$\beta_1 = \arccos[1 - (\Delta - \delta - r/2)/R],$$

$$\beta_2 = \arccos[1 - (\Delta - \delta + r/2)/R].$$

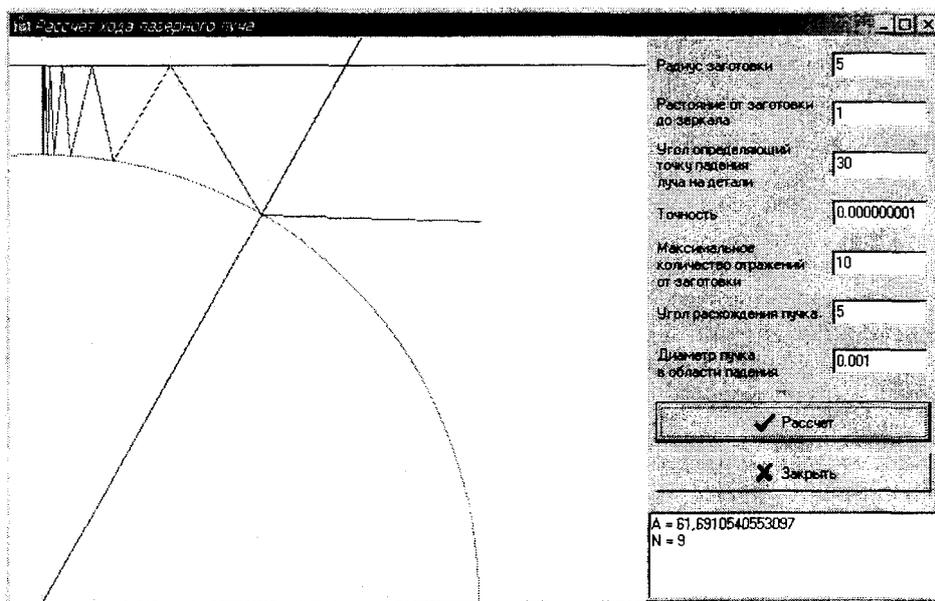


Рис. 3. Программа для оптимизации угла падения элементарного луча лазерного пучка

Далее оптимизируются крайние элементарные лучи по известным значениям  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $R$ ,  $\delta$  и  $n$  (максимально возможным для данного положения). Угол сходимости (расходимости) лазерного пучка определяют из выражения:

$$\theta = (\alpha_2 + \beta_2) - (\alpha_1 + \beta_1).$$

Несмотря на очевидное упрощение задачи определения оптимальных значений параметров схем лазерного термоупрочнения, нахождение приемлемого варианта для практической реализации требует перебора значительного количества вариантов по каждому элементарному лучу. Поэтому была разработана универсальная прикладная программа в среде C++ Builder 6 (рис. 4), которая оптимизирует лазерный пучок при следующих входных параметрах:

- радиус заготовки;
- зазор между деталью и зеркалом;
- угол расхождения лазерного пучка;
- минимальный диаметр пятна лазерного пучка на обрабатываемой поверхности;
- максимальный диаметр лазерного пучка на обрабатываемой поверхности;
- шаг лучей пучка.

Выходными параметрами данной программы являются:

- расстояние от оси лазерного пучка до зеркала;
- расстояние от фокусирующей линзы до поверхности детали;
- диаметр пятна лазерного пучка на обрабатываемой поверхности;
- количество отражений первого крайнего луча лазерного пучка;
- количество отражений второго крайнего луча лазерного пучка;
- количество отражений центрального луча лазерного пучка.

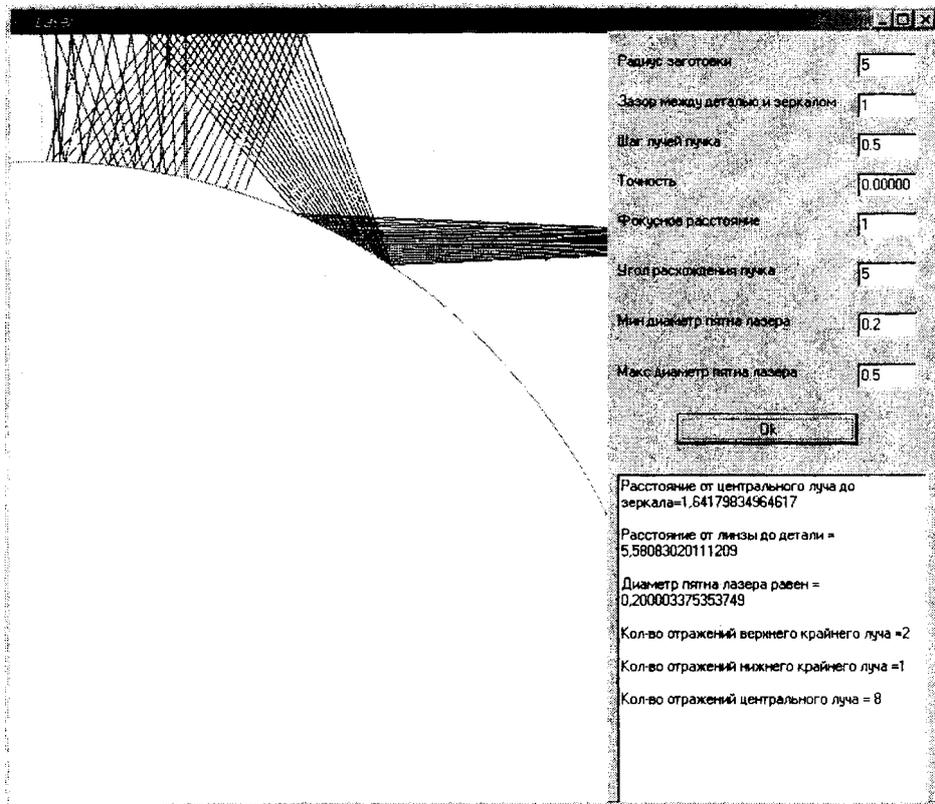


Рис. 4. Программа оптимизации параметров схемы лазерного термоупрочнения наружных цилиндрических поверхностей

Таким образом, вторая разработанная программа оптимизирует конструкторско-технологические параметры схемы лазерного термоупрочнения наружных цилиндрических поверхностей деталей, что позволяет по результатам оптимизации практически реализовать схему обработки для конкретной детали.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Dausinger F. Lasers with different wave lengs-implication for varies applications // 3<sup>rd</sup> European Conference on Laser Treatment of Materials / Sprehsal Publ Group, 1990. – P. 1 – 13.
2. Stem G. Absorptivity of cw CO<sub>2</sub>, CO and YAG-lasers beams by different metallic alloys // 3<sup>rd</sup> European Conference on Laser Treatment of Materials / Sprehsal Publ Group, 1990. – P. 25 – 35.
3. Леонтьев П.А., Хан М.Г., Чеканова Н.Т. Лазерная поверхностная обработка металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1986. – 22 с.
4. The analysis of process on laser hardening with the subsequent ultrasonic surface-plastic deforming / S.F. Kykin, A.S. Kykin, O.G. Devoyno, A.M. Kalenik // International Conference TOOLS, 2002. – P. 79.
5. Kukin S.F. Influencing of Combined Laser – Ultrasonic Processing on the Tribotechnical Characteristics of the Hardened Surfaces // International Conference INTERTRIBO, 2002. – P. 51.