

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ

© 2006 С.П. Мурзин, В.И. Артюшина

Самарский государственный аэрокосмический университет

Представлена структурно-функциональная схема формирования эксплуатационных характеристик деталей при лазерной обработке непрерывным излучением. Выходными параметрами таких технологических процессов являются глубина обработки, форма зоны обработки, свойства обработанного материала, а также шероховатость поверхности. Отличительными особенностями предлагаемого подхода от традиционного являются то, что форма лазерного пятна и распределение плотности мощности излучения рассматриваются в качестве основных параметров режима обработки, выбор параметров лазерного источника и разработка технологических оптических систем проводится в соответствии с результатами решения обратной задачи теплопроводности. Разработанный технологический метод применяется при проектировании технологии повышения износостойкости коленчатого вала поршневого двигателя.

Эксплуатационные характеристики деталей, формирующиеся при проведении технологических процессов лазерной обработки, зависят от свойств материала, оптических характеристик поглощающей излучение поверхности и параметров режима обработки. Любой технологический процесс преобразует входные параметры полуфабрикатов в выходные параметры изделия [1, 2]. Обработку деталей лазерным излучением можно разбить на четыре фазы: подготовка поверхности полуфабриката, генерация излучения, доставка энергии излучения к детали и ее распространение вглубь материала за счет теплопроводности. Каждая фаза определяется соответствующими физическими процессами. Анализировать технологический процесс удобно с помощью его математической или физической модели, представляя его в рамках системного подхода как объект управления [3]. Начальным этапом при таком подходе является составление структурно-функциональной схемы.

Структурно-функциональная схема формирования эксплуатационных характеристик деталей при лазерной обработке непрерывным излучением без оплавления поверхности (например, при термоупрочнении и отжиге) представлена на рис. 1.

Входными параметрами таких технологических процессов являются: скорость обработки, мощность излучения, определяемая параметрами лазерного источника, а

также форма лазерного пятна и относительное распределение плотности мощности. На удельный энергозатрат оказывают влияние также свойства поглощающего покрытия. Для процессов лазерной обработки основным фактором, влияющим на формирование эксплуатационных характеристик деталей, является температура в зоне обработки, которая зависит от времени воздействия, удельного энергозатрата, формы детали, теплофизических свойств и начальной температуры обрабатываемого материала. Выходными параметрами, т.е. параметрами, обеспечивающими выполнение конкретной задачи, сформулированной в техническом задании или заданной чертежом, являются глубина обработки, форма зоны обработки, свойства обработанного материала (например, его твердость, прочность, пластичность и т.д.), а также шероховатость поверхности. При обработке импульсным излучением время воздействия определяется длительностью импульса.

Следует отметить, что приведенная структурно-функциональная схема не ограничивается частным видом рассматриваемых технологических процессов, а имеют достаточно широкое методологическое значение для разработки других технологий лазерной обработки: например, газолазерной резки, пробивки отверстий и т.д.

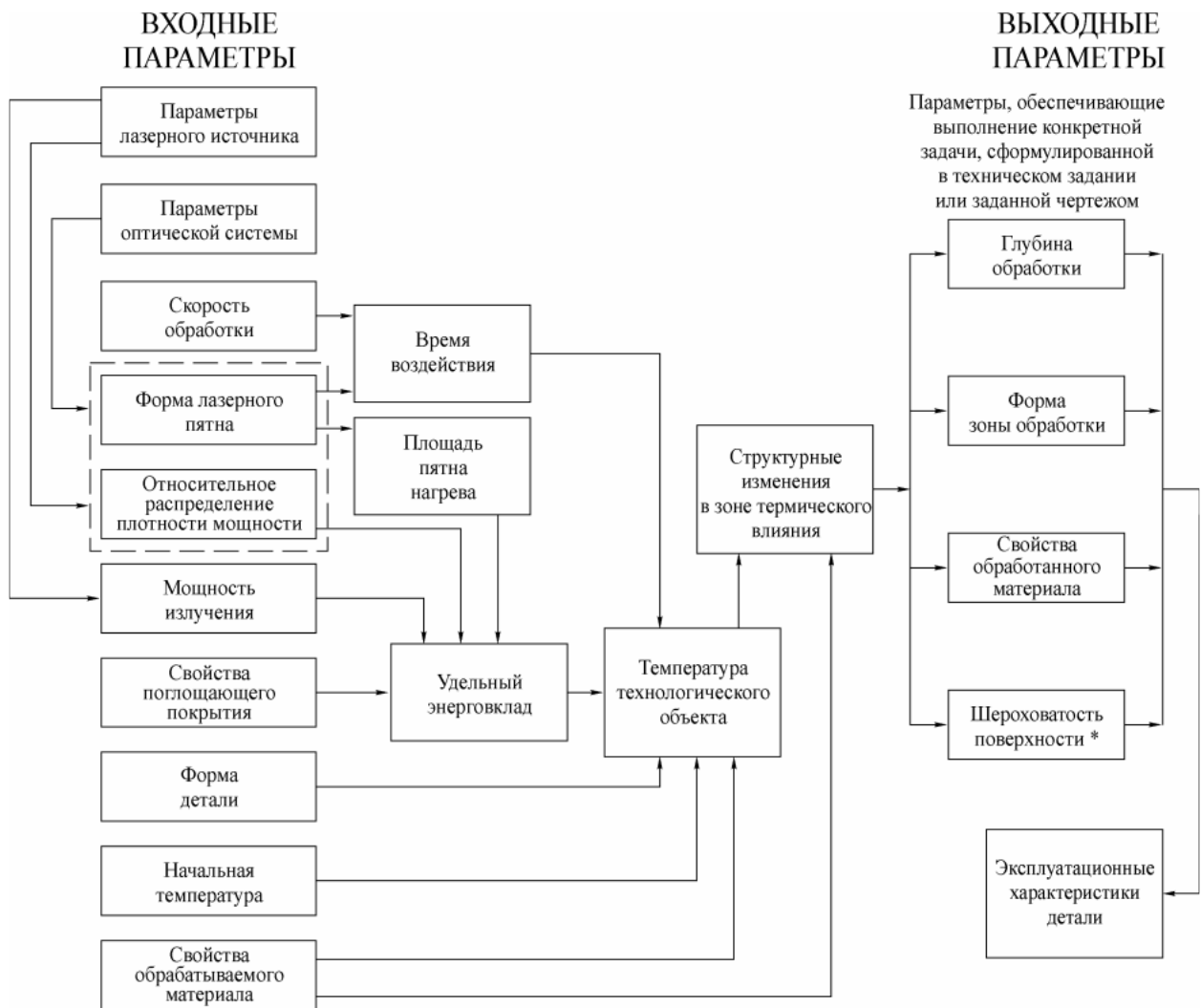


Рис. 1. Структурно-функциональная схема формирования эксплуатационных характеристик деталей при лазерной обработке непрерывным излучением.

\* При обработке без оплавления поверхности ее шероховатость практически не изменяется по сравнению с исходной.

При этом в качестве входных параметров технологических процессов лазерной обработки могут рассматриваться также условия закрепления детали, род вспомогательного (активного или защитного) газа и др., а на величину энерговклада может влиять, например, поглощение излучения образующейся плазмой. При обработке с оплавлением поверхности необходимо учитывать также происходящие гидродинамические процессы в зоне расплава.

При разработке технологических процессов лазерной обработки решают следующий комплекс взаимосвязанных задач: проводят анализ чертежа детали;

определяют режимы обработки и взаимосвязь параметров с характеристиками материала после обработки; обосновывают схему обработки и базирования детали; проводят выбор основного технологического оборудования и средств автоматизации; выбирают дополнительную оснастку, приборы и приспособления; при необходимости проектируют специальные контрольные приспособления.

Обычно при выборе режимов обработки расчет пространственного распределения мощности лазерного излучения для формирования требуемого энергетического воздействия на технологические объекты не проводится. Рассматривают

процесс нагрева полубесконечного тела или тонкой пластины энергетическим источником с равномерным или гауссовским круговым (иногда, однородным полосовым [4, 5]) распределением плотности мощности. Далее, строят расчетные номограммы для определения режимов обработки: мощности  $Q$ , скорости  $v$  относительного перемещения детали и лазерного пятна, радиуса пятна нагрева – при обработке непрерывным излучением; энергии  $E_{и}$  и длительности импульса  $\tau_{и}$ , а также радиуса пятна нагрева – при импульсном воздействии. Причем при импульсной обработке чаще всего рассматривают стадию нагрева, используя известные аналитические решения дифференциального уравнения теплопроводности для одномерных моделей в линейной постановке [6, 7 и др.]. Не учитываются температурные зависимости теплофизических характеристик и поглотительной способности облучаемого материала.

Отличительными особенностями предлагаемого подхода от традиционного являются то, что форма лазерного пятна и распределение плотности мощности излучения рассматриваются в качестве основных параметров режима обработки, выбор параметров лазерного источника и разработка технологических оптических систем проводится в соответствии с результатами решения обратной задачи теплопроводности.

Технологический метод повышения эксплуатационных характеристик деталей двигателей летательных аппаратов лазерной обработкой, структурная схема которого представлена на рис. 2, заключается в следующей последовательности:

- на основе анализа чертежа детали определяется требуемый температурный цикл в зоне термического влияния; определяется целесообразность применения и выбираются поглощающие покрытия;

- проводится расчет основных параметров режима обработки решением обратной задачи теплопроводности; Основными параметрами режима обработки являются форма лазерного пятна и распределение плотности мощности излучения  $q(x, y)$ , а также: при обработке непрерывным

излучением – мощность излучения  $Q$  и скорость обработки  $v$ ; при обработке импульсным излучением – энергия в импульсе  $E_{и}$  и его длительность  $\tau_{и}$ .

- осуществляется выбор оборудования и средств автоматизации;

- проводится расчет технологической оптической системы;

- выбирается дополнительная оснастка, приборы и приспособления;

- проводится отработка технологии на конкретных деталях с оценкой соответствия выходных параметров технологического процесса заданным;

- после проведения комплекса исследований эксплуатационных характеристик, в том случае если они соответствуют требуемым оформляется технологическая документация.

Разработанный технологический метод применялся для повышения износостойкости коленчатого вала поршневого двигателя. При этом одними из основных требований являются равномерность глубины закаленной зоны и отсутствие дефектов на ее поверхности.

Металлографические исследования шлифов, изготовленных в поперечном сечении зоны лазерного воздействия хромоникельмолибденовой стали 40ХНМА, показали следующее.

При обработке без оплавления поверхности область термического влияния состоит из нескольких слоев, микротвердость каждого из которых в различной степени отличается от исходной. Верхний, наиболее твердый слой пониженной травимости представляет собой мартенсит с микротвердостью  $H_{\mu}=(7500...8000) \cdot 10^6$  Па. Под ним расположена область неполной закалки, имеющая структуру из мартенсита и феррита.

Третий слой – переходная зона. При лазерном воздействии на предварительно термообработанную сталь в этом слое имеет место понижение микротвердости, связанное с образованием структур отпуска – троостоферрита, троостита или сорбита.



Рис. 2. Структурная схема технологического метода повышения эксплуатационных характеристик деталей двигателей летательных аппаратов лазерной обработкой.

Исходная структура материала – сорбит с твердостью  $H_{\mu}=(2850...3410) \cdot 10^6$  Па. Формирование таких структур в зоне лазерного воздействия обусловлено характером распределения температурных полей и различием в скорости охлаждения по глубине области термического влияния [8, 9].

Лазерное термоупрочнение деталей из хромоникельмолибденовой стали 40ХНМА и цементированной стали 12Х2Н4А с обеспечением заданных свойств конструкционных материалов позволяет увеличить износостойкость в 1,5...1,7 раза за счет создания в поверхностном слое высокодисперсной, слаботравящейся, дезориентированной в пространстве структуры, имеющей повышенную твердость.

### Список литературы

1. Авиадвигателестроение. Качество, сертификация и лицензирование: Учеб. пособие / В.Ф. Безъязычный, А.Ю. Зимятин, В.Ю. Зимятин и др.; Под общ. ред. В.Ф. Безъязычного. М.: Машиностроение, 2003. – 840 с.
2. Технологическое обеспечение проектирования и производства газотурбинных двигателей / Под ред. Б.Н. Леонова и А.С. Уварова. ОАО «Рыбинский дом печати», 2000. – 406 с.
3. Барвинок В.А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий. М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.
4. Гуреев Д.М., Ямщиков С.В. Основы физики лазеров и лазерной обработки

материалов: Учеб. пособие. Самара: Изд-во "Самарский университет", 2001. – 392 с.

5. Технологические лазеры: Справочник: В 2 т. / Г.А. Абильситов, В.Г. Гонтарь, Л.А. Новицкий и др. Под общ. ред. Г.А. Абильситова. М.: Машиностроение. 1991. Т. 1: Расчет, проектирование и эксплуатация. – 432 с., Т. 2: Системы автоматизации. Оптические системы. Системы измерения. – 544 с.

6. Андрияхин В.М. Процессы лазерной сварки и термообработки. М.: Наука, 1988. – 176 с.

7. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник / Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, И.В. Зуев, А.Н. Кокора. М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.

8. Мурзин С.П. Применение фокусаторов излучения для повышения эффективности лазерной термической и комбинированной обработки материалов // Компьютерная оптика. МЦНТИ, 2002. Вып. 24. – С. 114-120.

9. Мурзин С.П., Трегуб В.И., Мельников С.М. Разработка перспективных технологических процессов лазерной и комбинированной обработки материалов в авиадвигателестроении // Вестник СГАУ: Труды международной научно-технич. конф. Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Самара, 2003. Ч.1. – С.248-257.

## **TECHNOLOGICAL METHOD OF INCREASE OF OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF DETAILS OF ENGINES AND POWER INSTALLATIONS BY LASER PROCESSING**

© 2006 S.P. Murzin, V.I. Artjushina

Samara State Aerospace University

The structurally functional circuit of formation of operational characteristics of details is submitted at laser processing by continuous radiation. Target parameters of such technological processes are depth of processing, the form of a zone of processing, property of the processed material, and also a roughness of a surface. Distinctive features of the offered approach from traditional are that the form of a laser stain and distribution of density of capacity of radiation are considered as key parameters of a mode of processing, the choice of parameters of a laser source and development of technological optical systems is carried out according to results of the decision of a return problem of heat conductivity. The developed technological method was applied at designing technology of increase of wear resistance of a cranked shaft of the piston engine.