

Очевидно, что возможности такой систематизации определяются качеством разработки “модулей”, комбинацией которых по определенным правилам могут быть построены динамические модели различных видов. Представление динамических моделей как сочетания модулей различного типа обеспечивает корректную разработку компьютерных программ для комплексной оценки параметрических степеней свободы элементов и устройств систем транспортных машин и механизмов, а, следовательно, автоматизацию самого процесса расчета.

#### Список литературы

1. Кожевников С.Н., Антонюк Е.Я. Систематизация динамических моделей механических агрегатов.// Теория машин и механизмов: Респ. междувед. научн. – техн. сб. – вып. 35. – Харьков: Высшая школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1983. – С.3-6.
2. Ковтунов А.В. Обеспечение виброизоляции грузов ответственного назначения при железнодорожных перевозках: Автореф. дисс. канд. техн. наук: 01.02.06. – Орел: Орел ГТУ, 2002, – 18с.
3. Гидропневмотопливные клапанные агрегаты с управляемым качеством динамических процессов: Учебно-справочное пособие / Д.Е.Чегодаев, О.П.Мулюкин, А.Н.Кирилин и др. – Самара: СГАУ, 2000. – 546 с.
4. Долотов А.М., Огар П.М., Чегодаев Д.Е. Основы теории и проектирования уплотнений пневмогидроарматуры летательных аппаратов: Учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2000 – 296 с.
5. Многомассный поршневой привод клапанно-седельной пары: Свидетельство №73200200208 ВНИИЦ на интеллектуальный продукт от 02.12.02/В.Н. Нигматуллина // Интеллектуальная собственность. – Идеи, гипотезы, решения. – М., ВНИИЦ, 2002.
6. Способ снижения шумовых эффектов («гудения») пружин клапанных механизмов: Свидетельство №73200200207 ВНИИЦ на интеллектуальный продукт от 02.12.02 / В.Н. Нигматуллина, А.Н. Носов, Г.В. Изранова // Интеллектуальная собственность Идеи, гипотезы, решения. - М., ВНИИЦ, 2002.

### **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА БЕСКОНТАКТНОЙ ДИАГНОСТИКИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В МАТЕРИАЛАХ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМООБРАБОТКЕ**

Мурзин С.П.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Технологические процессы термической обработки, основанные на локальном нагреве конструкционных материалов излучением, с высокой экономической эффективностью применяются при изготовлении деталей и узлов различных машин и агрегатов [1]. Одними из основных особенностей

технологии производства авиационных двигателей являются: повышенные требования к точности деталей и состоянию их поверхностного слоя, широкое использование жаропрочных, тугоплавких и легких сплавов, применение новейших методов обработки материалов. Поэтому задача совершенствования технологических решений для обеспечения эксплуатационных свойств изготавливаемой детали или узла в данной отрасли достаточно актуальна.

Наиболее значимым фактором, влияющим на формирование физико-механических свойств материалов и эксплуатационных характеристик изделий при воздействии лазерного излучения, является температура в зоне обработки [2, 3 и др.]. Несоответствие распределения температурного поля в зоне обработки тонкостенных деталей заданному изменению состояния технологических объектов приводит уже на стадии обработки к образованию различных дефектов, таких, как пережоги, крупнозернистость, локальные оплавления и коробление листовых заготовок из-за неравномерного тепловыделения по ширине зоны термического влияния. Для объемных деталей характерны следующие дефекты: неравномерное распределение механических свойств по ширине зоны термического влияния; неравномерная глубина обработки; локальное оплавление; повышенная хрупкость изделия вследствие перегрева центральной и недостаточная твердость в результате недогрева периферийных областей энергетического воздействия.

Применение в составе оптических систем формирования излучения элементов компьютерной оптики (фокусаторов излучения) [4, 5, 6] создает предпосылки для устранения перечисленных негативных последствия технологических процессов. Обработка деталей полосовым тепловым источником имеет ряд технологических преимуществ и позволяет обеспечить наиболее однородное распределение механических свойств по ширине зоны термического влияния. Увеличение интенсивности излучения по краям полосы компенсирует повышенные тепловые потери периферийных участков [7]. Использование устройств для оперативного контроля температурных полей технологических объектов в составе систем компьютерного управления вспомогательными средствами обеспечения качества создает предпосылки для реализации сложных законов управления высокоэнергетическими технологическими процессами, в том числе и законов управления с адаптацией.

Поскольку специфика взаимодействия высококонцентрированных потоков энергии с деталью делает невозможным использование контактных способов измерения температуры, то контроль температурных полей целесообразно осуществлять оптико-электронными системами анализа потоков теплового излучения. При температуре поверхности от

700 до 1500°С большая часть энергии излучения с поверхности технологических объектов приходится на спектральный диапазон  $d\lambda = (1...6) \cdot 10^{-3}$  м. В этой области ИК-спектра излучательная способность материалов в меньшей степени зависит от шероховатости их поверхности, т.к. длина волны излучения становится больше размеров самих неровностей. Использование тепловизоров (оптико-электронных сканирующих инфракрасных радиометров пассивного типа) позволяет обеспечить однозначность и пропорциональность значения сигнала отклика контролируемому параметру при достаточно высоких пространственно-энергетических и временных разрешениях. Для проведения экспериментальных исследований быстроменяющихся температурных полей в реальном масштабе времени и применения в составе системы управления технологическим процессом создана автоматизированная система бесконтактной диагностики нестационарных тепловых процессов.

Периодичность поступления видеoinформации при использовании телевизионного стандарта достаточна, поэтому элементная база из ИК-радиометра - блока оптической визуализации температурного поля в рабочей зоне тепловизора "Радуга", блока ввода-вывода видеозображения и персонального компьютера в состоянии обеспечить создание автоматизированных систем с использованием программных средств обработки изображений. Разработана схема устройства сопряжения оптического блока тепловизора с персональным компьютером.

Визуальное наблюдение нестационарных процессов в их развитии, неразрушающая диагностика и термографические исследования поверхности объекта, нагретой до температуры  $T = (300...1500)^\circ\text{C}$ , проводятся при использовании ослабителя теплового излучения. Соответствие излучательной способности поверхности исследуемого объекта значениям уровня и диапазона исследуемых температур устанавливаются в режиме калибровки сигнала. Энергия излучения преобразуется в пропорциональный ей электрический сигнал, который управляет яркостью луча, перемещающегося по экрану электроннолучевой трубки видеоконтрольного устройства. Распределение температуры по поверхности объекта фиксируется в виде изображения с различной яркостью участков или в условных цветах палитры RGB.

Обработка информации о нестационарных тепловых процессах в зоне лазерного воздействия осуществляется с использованием разработанного программного обеспечения, функционирующего в среде Windows 95/98 и имеющего многооконный интерфейс. Анализ термоизображения проводится как в автоматическом режиме работы, так и в командном интерактивном. Реализуются различные комбинации

воспроизведения, записи и сравнения термограмм. Например, изображение или его часть может фиксироваться в режиме “стоп-кадр” с увеличением отдельных участков. В этом случае, на одной части экрана может быть воспроизведена эталонная термограмма, а на другой – в реальном масштабе времени визуализируется характер распределения температур объекта. Предусмотрено формирование полутоновой или цветной шкалы, а также цифровой информации о номере кадра, диапазоне и уровне исследуемых температур. На экране также отображается оптический клин с градациями яркости или шкалой цвета.

Для устранения влияния диффузно-рассеянного лазерного излучения, уровень мощности которого может значительно превышать тепловое излучение нагретой области, применяются германиевый и сапфировый фильтры, ограничивающие спектральный диапазон пропускания полосой  $(2...7) \cdot 10^{-3}$  м. При работе с сильнозашумленными термоизображениями модуль преобразователя кода переводится в режим цифровой фильтрации, при котором действие шумов ослабляется. Для установившегося (квазистационарного) состояния, которое наступает как предельное при длительном действии подвижного источника, разброс показаний от действия шума ослабляется с увеличением времени измерения. Программное обеспечение позволяет осуществить пространственную и временную фильтрацию помех, а также сигнализировать о выходе температуры за заданные границы в выбранном участке термоизображения.

Характерное изображение температурного поля объекта после проведения фильтрации представлено на рис. 1.

Использование автоматизированной системы бесконтактной диагностики нестационарных тепловых процессов позволяет провести выбор рациональной схемы нагрева при лазерной термообработке.

Применение лазерного отжига для местного разупрочнения перед формообразованием металлических сплавов значительно улучшает схему пластического течения листового металла, что позволяет повысить точность изготовления деталей, уменьшить пружинение и радиусыгиба [8, 9]. С целью увеличения удельной прочности и жесткости изделий в штамповочном производстве деталей летательных аппаратов и их двигателей используются титановые сплавы. Наиболее важными специфическими особенностями, определяющими комплекс технологических свойств таких конструкционных материалов, наряду с ограниченными возможностями холодного деформирования являются их низкая теплопроводность и высокая активность взаимодействия с окружающей средой. Лазерный нагрев является более предпочтительным, так как он обеспечивает возможность значительного сокращения времени

пребывания металла при температурах интенсивного окисления и газонасыщения поверхностных слоев.

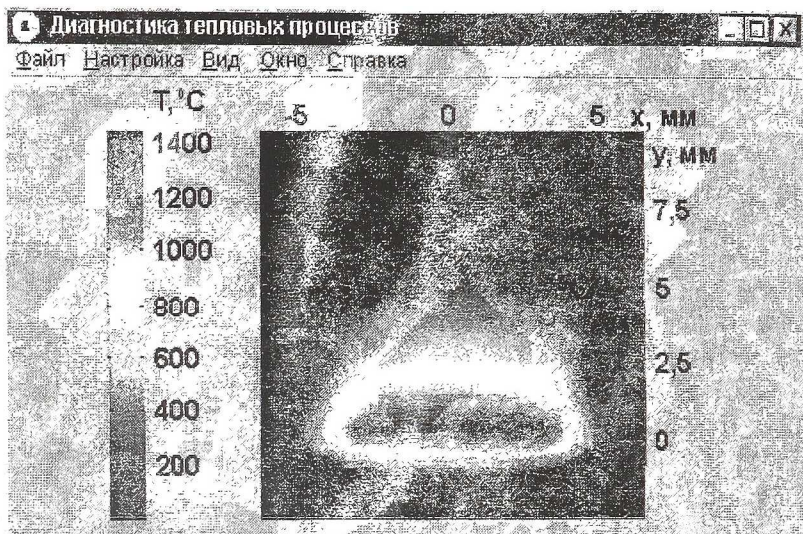


Рис. 1. Изображение температурного поля объекта на экране монитора персонального компьютера при использовании автоматизированной системы бесконтактной диагностики нестационарных тепловых процессов

Требуемый комплекс механических свойств материала в зоне обработки обеспечивается регулированием распределения энергии лазерного излучения на поверхности заготовки. Характер тепловых процессов определяется как энергетическими характеристиками излучения (плотностью мощности, временем воздействия, пространственным распределением интенсивности по сечению пучка и его геометрическими параметрами), так и теплофизическими характеристиками обрабатываемого материала. Из-за низкой теплопроводности титановых сплавов при их высокоскоростном нагреве и охлаждении имеют место значительные температурные перепады.

Определены температурно-скоростные режимы лазерного отжига для снятия наклепа. Использование элементов компьютерной оптики – фокусаторов излучения позволяет реализовать режимы обработки в заданных интервалах температуры и времени выдержки. На рис. 2 представлено экспериментально определенное температурное поле, имеющее место на поверхности листового титанового сплава OT4-1 толщиной  $\delta_n = 2 \cdot 10^{-3}$  м при проведении лазерного отжига. Скорость движения полосового лазерного энергетического источника,

сформированного элементом компьютерной оптики, составляла  $v = 2,5 \cdot 10^{-3}$  м/с.

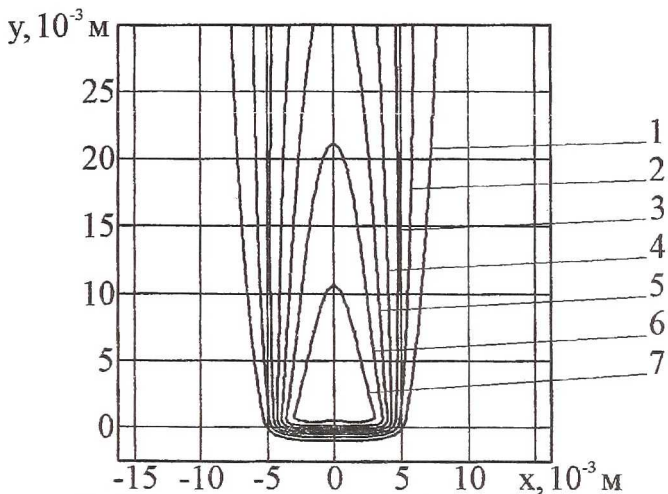


Рис. 2. Экспериментально определенное температурное поле, имеющее место на поверхности листового титанового сплава OT4-1 толщиной  $\delta_n = 2 \cdot 10^{-3}$  м при проведении лазерного отжига. Скорость движения вдоль оси  $y$  полосового лазерного источника  $v = 2,5 \cdot 10^{-3}$  м/с. Мощность излучения  $\text{CO}_2$ -лазерной установки  $Q = 400$  Вт: 1 –  $T = 400$  К; 2 –  $T = 500$  К; 3 –  $T = 600$  К; 4 –  $T = 700$  К; 5 –  $T = 800$  К; 6 –  $T = 900$  К; 7 –  $T = 1000$  К

Методами традиционной металлографии проведено сопоставление исследуемых температурных полей в конструкционных материалах и характера структурных изменений. На рис. 3 приведена микроструктура листового титанового сплава OT4-1 после проведения лазерного отжига. Исходный материал - в состоянии поставки (после прокатки и отжига). В результате проведенных экспериментальных исследований определены режимы обработки, обеспечивающие одинаковую степень развития структурных превращений по ширине зоны термического влияния. Анализ полученных результатов указывает на перспективность использования лазерного отжига низколегированных титановых сплавов.

Применение в составе оптических систем формирования излучения элементов компьютерной оптики (фокусаторов излучения) создает предпосылки для устранения негативных последствий технологических процессов в виде: пережогов, крупнозернистости, локальных оплавлений и коробления листовых заготовок при проведении лазерной термообработки листовых материалов; неравномерного распределения механических свойств по ширине зоны термического влияния, неравномерной глубины обработки при высокоэнергетическом воздействии на объемные детали.

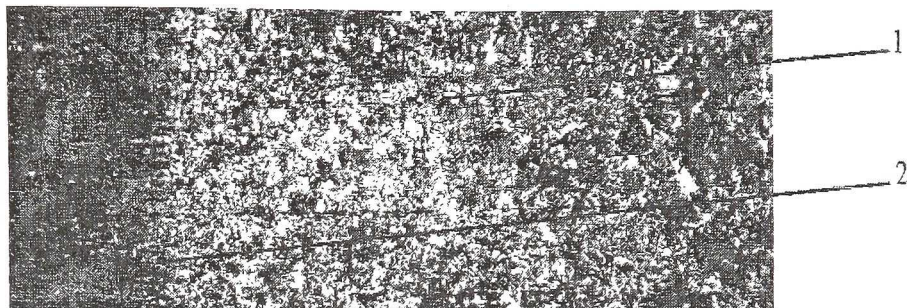


Рис.3. Микроструктура листового титанового сплава ОТ4-1 после лазерного отжига: 1-зона отжига; 2 – исходная структура

Для проведения исследований быстроменяющихся температурных полей в реальном масштабе времени и использования в составе системы управления технологическим процессом лазерной термообработки материалов создана автоматизированная система бесконтактной диагностики нестационарных тепловых процессов.

В результате проведенных исследований выявлены температурно-скоростные режимы лазерного отжига, обеспечивающие требуемый комплекс механических свойств листовых низколегированных титановых сплавов перед проведением холодной штамповки.

#### Список литературы

1. Handbook of laser processing / Ed. J. F. Ready. – Orlando: Laser Institute of America. – Magnolia publ. Inc., 2001. – 715 с.
2. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник // Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, И.В. Зуев, А.Н. Кокора. М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
3. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
4. Golub M.A., Sisakian I.N., Soifer V.A. Infra-red radiation focusators // Optics and lasers in engineering. – 1991. –Vol. 15, N 5. – P. 297-309.
5. Device for laser treatment of an object: Pat. USA 5, 103, 073. 7.04.1992. Int. cl.<sup>5</sup> B 23 K 26/00. A.M. Prokhorov, I.N. Sisakian, V.A. Soifer, V.P. Shorin, V.I. Mordasov, S.P. Murzin et al.
6. Методы компьютерной оптики / Под ред. В.А. Сойфера. –М.: Физматлит, 2000. – 688 с.
7. Мордасов В.И., Мурзин С.П. Математическая модель управления тепловым воздействием на материалы высокоэнергетических источников // Компьютерная оптика, МЦНТИ, 2001, вып. 21. – С.134-137.

8. Устройство для локального отжига листовых заготовок: А.С. 1706219 СССР, МКИ<sup>5</sup> С 21 D 1/09 / И.Н. Сисакян, В.П. Шорин, В.А. Соيفер, В.И. Мордасов, С.П. Мурзин. 15.09.1991.
9. Способ разупрочнения листовой заготовки перед штамповкой и устройство для его осуществления: А.С. 1839119 СССР, МКИ<sup>5</sup> В 21 D 5/01 / В.П. Шорин, В.А. Соيفер, В.И. Мордасов, С.П. Мурзин, В.В. Попов. Бюл. 48-47. 30.12.1993.

## МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ПРОГРАММ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ В ЗАДАЧАХ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Люлев А.И.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Пакеты прикладных программ являются одной из наиболее эффективных форм организации выполнения инженерных расчетов. Разнообразие программного обеспечения позволяет подобрать готовое решение для проведения научных исследований, неограниченно расширить возможность обмена информацией между исследователями из разных научных организаций. Современные математические программные продукты (МПП) («Maple», «MathCad» и др.) обладают удобным пользовательским интерфейсом, понятным языком программирования, который, однако, достаточен для решения большого круга исследовательских задач математического моделирования.

Наметившаяся тенденция к усложнению конструкций языков программирования в МПП требует выработки методики программирования. Правильная организация структуры и стиля программы повышает ее «читабельность», упрощает и ускоряет инженерные расчеты по модели.

Методика построения программы должна включать в себя следующие этапы.

1. **Объявление всех параметров модели.** Все изменяемые параметры необходимо отделить от определения функций, чтобы при варьировании параметров определения функций оставались неизменными.
2. **Определение целевых функций и задание промежуточных формул.** Аналитические зависимости исследуемых функций являются целевыми функциями. Одинаковые части формул необходимо выделить в промежуточные формулы, чтобы с их помощью было проще