

А.В.Подзей, В.Е.Логинов, Г.Г.Тертышный

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕТАЛЯХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Точность и физико-механическое состояние поверхностного слоя характеризуют надежность и долговечность любого изделия. В свою очередь остаточные технологические напряжения являются одним из основных параметров, определяющих геометрическую точность и физико-механическое состояние поверхностного слоя ответственных деталей.

Известно, что исследование остаточных напряжений с помощью механических методов, как правило, сопровождается разрушением детали на образцы.

Известны тензометрические методы исследования остаточных технологических напряжений в деталях без их разрушения. Однако в этом случае получается дискретная информация о состоянии той части детали, где наклеены тензорезисторы.

Существующие методы могут дать достаточно надежные результаты измерений только для образцов простой формы. Вырезка образцов вносит большие искажения в истинную картину поля распределения остаточных технологических напряжений по поверхности неразрушенной детали. Поэтому получение данных об истинной интегральной картине поля этих напряжений в деталях сложной формы весьма затруднительно, а порой - совсем невозможно. Все это вызвало необходимость поиска новых методов определения пространственной картины поля остаточных технологических напряжений у деталей без их разрушения. Для этой цели наиболее приемлемыми являются голографические методы.

Для выбора способа получения информации о весьма малых пространственных перемещениях отдельных участков поверхности детали был проведен анализ всех известных методов голографической интерферометрии, а именно: метода двух экспозиций; метода многократных экспозиций; стробоголографического метода; метода реального масштаба времени.

Схема, показанная на рис. 1, включает оптический квантовый генератор - 1, поворотную оптическую призму - 2, стопроцентные зеркала - 3 и 5, коллиматор - 4, полупрозрачное зеркало - 6, объект исследования (деталь) - 7, фотопластинку - 8, фоторегистрирующее устройство (фото- или киноаппарат) - 9.

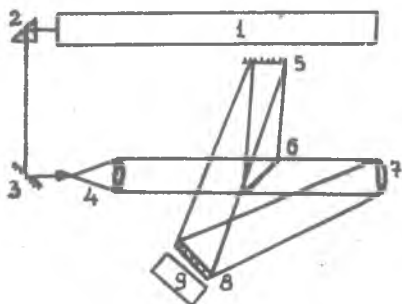


Рис. I. Исходная оптическая схема

Сущность метода двух экспозиций (рис. I) состоит в определенной последовательности операций при регистрации на фотопластинку исходного и конечного состояния исследуемого объекта. Вначале регистрируют исходное состояние объекта, установленного на рабочем столе голографической установки. Затем, не трогая объект с места, переводят его в другое состояние и делают вторую экспозицию на ту же фотопластинку. Причем фотопластинка

закреплена неподвижно и проявляется только после второй экспозиции.

Этот метод легко реализуем, имеет высокую производительность, однако имеет ограниченность применения для тех объектов, которые могут изменить свое состояние за время между экспозициями. При изменении состояния во время экспозиции происходит размазывание интерференционной картины и, следовательно, падает точность измерения.

Метод многократных экспозиций (рис. I) состоит в записи на фотопластинку усредненной голографической картины двух крайних положений вибрирующего объекта. Точность метода зависит от частоты колебаний объекта, так как с возрастанием частоты время нахождения в крайних положениях возрастает, а фоновое излучение уменьшается.

Невысокая производительность метода, сложность реализации схемы и малый динамический диапазон измерений делает этот метод неприемлемым при исследовании низкочастотных процессов, поступательных перемещений и требует применения стробоголографического метода.

Стробоголографический метод состоит в фиксации двух крайних положений вибрирующего объекта с исключением фона размытия с помощью стробоскопического устройства Ю, изображенного на рис. 2.

Этот метод имеет более широкие технологические возможности, так как позволяет незначительно расширить динамический диапазон измерений, увеличить точность измерений.

Однако сложность реализации схемы, система синхронизации и т.д., ее ограниченный динамический диапазон не позволяют произво-

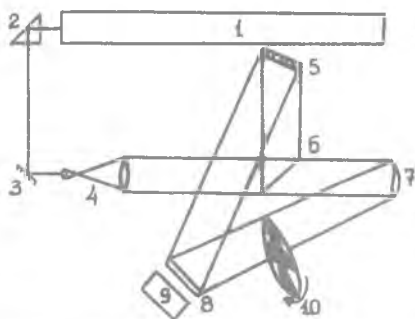


Рис.2. Оптическая схема, реализующая стробоголографический метод

дить измерение малых перемещений при исследовании низкочастотных колебаний и поступательных перемещений.

Сущность метода реального масштаба времени заключается в сравнении мнимого голографического изображения первоначального состояния объекта исследования, восстановленного с голограммы с измененным состоянием самого объекта. В качестве объекта могут быть взяты детали различной формы.

Интерференция двух волновых полей порождает новую структуру поля, характер которой содержит информацию о перемещениях, деформациях, которые могли произойти с объектом во временном промежутке между регистрацией и восстановлением мнимого изображения.

Самое большое преимущество этого метода состоит в возможности регистрации на кинолентку изменений, интерференционных полос. Он дает возможность изучать процессы, происходящие со сменой знака. При этом не произойдет потери информации, так как шаг ее съема значительно сокращается, а число шагов соответственно возрастает во столько раз, во сколько раз уменьшается шаг по времени. Поэтому для получения непрерывной информации о состоянии всей пространственной поверхности детали был выбран и использован метод реального масштаба времени. Методика получения информации основана на перераспределении остаточных напряжений в результате воздействия на исследуемую деталь полями сил, возникающих при химическом травлении. Остаточные напряжения, перераспределяясь, вызывают деформацию детали. Величина и знак этой деформации определенным образом характеризуют величину и знак остаточных напряжений.

Для реализации этой методики была создана специальная голографическая установка, оптические элементы которой защищены от воздействия вредных паров с помощью вытяжной системы.

Схема установки показана на рис. 3. Установка включает в себя рабочую плиту - 1 с габаритами 1600x1000x200 мм и весом 1200 кг, промежуточные фанерные плиты - 2, амортизационные пневматические

подушки - 3, основание - 4, представляющее собой сварную из стального уголка раму, пакет тонких бумажных листов - 5, опоры - 6 для рабочей плиты в нерабочем состоянии, воздушные краны - 7 и электроконтактные датчики - 8.

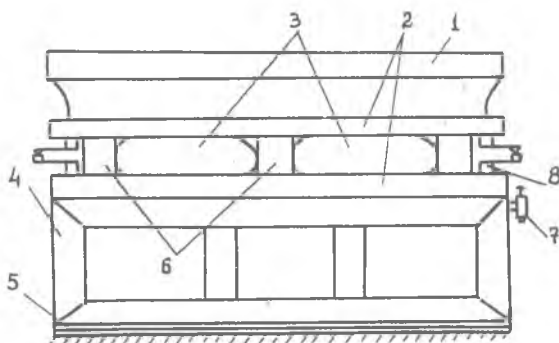


Рис. 3. Схема голографической установки:

- 1 - рабочая плита; 2 - промежуточные плиты;
- 3 - antivибрационные пневматические подушки;
- 4 - основание; 5 - виброгасящая прокладка;
- 6 - опоры; 7 - воздушные клапаны; 8 - электроконтактные датчики

Уменьшение собственных частот колебаний инерционной массы осуществляется за счет применения виброзащитных амортизационных пневматических подушек, проложенных между рабочей плитой и основанием; пакета тонкослойного материала с небольшим коэффициентом поверхностного трения и двух промежуточных фанерных плит. Виброгасящий пакет состоит из набора тонких и гладких листов бумаги, общей толщиной 10-20 мм и гасит горизонтальную составляющую вибраций фундамента, особенно, нежелательных при больших экспозициях. Четыре виброзащитные амортизационные пневматические подушки подключены через индивидуальные воздушные краны к насосу. Накачивание подушек может осуществляться автоматически. Выставление рабочей плиты в горизонтальной плоскости осуществляется в процессе накачивания подушек с помощью четырех электроконтактных датчиков. Такая схема автоматического регулирования положения рабочей плиты по уровню позволяет использовать в качестве держателей оптики постоянные магниты. С помощью магнитных держателей на рабочей плите установлены, кроме оп-

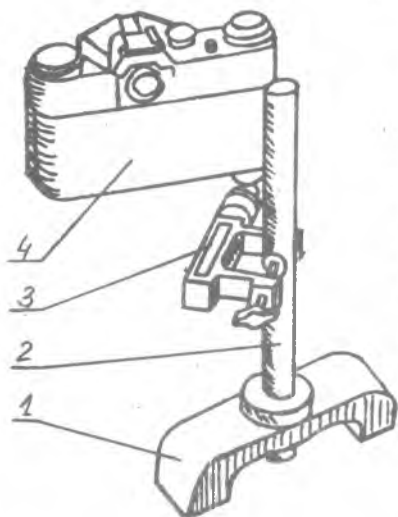


Рис.4.Схема устройства для установки фотоаппарата:
1 - постоянный магнит; 2 - стойка; 3 - фотоштатив; 4 - фотоаппарат

тических элементов, устройство для обработки фотопластинок на месте их экспонирования, фотопластинка и фотоаппарат.

На рис. 4 показана схема приспособления для установки фотоаппарата.

Приспособление для обработки фотопластинок на месте их экспонирования состоит из магнитного держателя, стойки, поворотного столика и трех бачков (для проявителя, закрепителя и воды), расположенных на столике симметрично оси



Рис.5.Интерферограмма компрессорной лопатки

его вращения. Поворотный столик расположен таким образом, что один из бачков всегда находится точно под фотопластинкой. Для обработки фотопластинки необходимо вначале расположить под ней бачок с проявителем и поднять столик вверх до полного погружения фотопластинки в раствор. В этот момент фиксатор во втулке войдет в гнездо стойки. После проявления столик опускают, поворачивают на угол 120° , промывают фотопластинку, затем под нее подводят бачок с закрепителем, поднимают столик вверх и т.д. до полной обработки фотопластинки.

На созданной установке были проведены эксперименты по качественной оценке остаточных технологических напряжений в деталях сложной формы с диффузно-отражающей поверхностью. Детали, как правило, имели остаточные напряжения в поверхностном слое. Выведение деталей из состояния устойчивого равновесия осуществлялось в процессе химического травливания напряженных слоев металла с определенной части поверхности.

В реальном масштабе времени фиксировались изменения пространственного положения всех точек поверхности детали, возникшие в результате деформации, вызванных перераспределением остаточных технологических напряжений при травлении. В качестве примера на рис. 5 приведена интерферограмма компрессорной лопатки, изготовленной из титанового сплава. В лопатке исследовались остаточные напряжения со стороны спинки. Напряжения являлись результатом воздействия теплового фактора на локальную поверхность. На интерферограмме четко выражено неравномерное по всей поверхности распределение интерференционных полос, свидетельствующее о неравномерной деформации пера. Локальная деформация выражена в виде эллипса, центр которого совпадает с местом прижога.

Итак, результаты исследований показали возможность обнаружения концентраторов напряжений типа прижогов, наклепа и др., влияющих на надежность и ресурс двигателей.

Э.В.Рыков, А.В.Тотай

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ОБРАБОТАННЫХ РЕЗЦАМИ ИЗ ЭЛЬБОРА P

Повышение надежности и долговечности машин в большей степени зависит от качества поверхности их деталей. Технологическое обеспечение