



# АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕРОГРАММ ПРИ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

Академик НАН УКРАИНЫ Л. М. ЛОБАНОВ, В. А. ПИВТОРАК, кан. физ.-мат. наук, В. В. САВИЦКИЙ, Е. М. ОЛЕЙНИК, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлена система компьютерного анализа голографических интерферограмм на основе оцифровки голографического изображения исследуемого объекта и использования метода несущих полос. Предложена эффективная методика их получения и простой алгоритм обработки интерферограмм. Методика несущих полос позволяет решить проблему неопределенности знака, обычно присутствующую в интерференционных картинах полос. Приведены примеры применения созданной методики для контроля дефектности элементов сотовой конструкции и плоских образцов.

*Ключевые слова:* голографическая интерферометрия, Фурье-преобразование, контроль качества, паяисварная сотовая конструкция

Создание новых материалов и конструкций неразрывно связано с совершенствованием и развитием методов их диагностики. Известные методы контроля качества (ультразвуковой, рентгеновский, магнитный и др.) имеют ряд ограничений при испытании тонкостенных сварных конструкций, а также конструкций, выполненных из композиционных и полимерных материалов. В связи с этим актуальным является развитие и создание новых высокопроизводительных и надежных методов диагностики конструкций, выполненных из металлических и неметаллических материалов.

В последнее десятилетие интенсивное развитие получил метод голографической интерферометрии, который отличается высокой точностью и наглядностью получаемой информации при испытании конструкций. Метод бесконтактный, позволяет получать информацию о деформации исследуемого объекта, при этом не требуется специальная подготовка его поверхности и др. [1–3].

Голографическая интерферометрия является одним из наиболее значительных применений голографии, в частности, при неразрушающем контроле качества элементов и узлов конструкций [1]. Однако ее использование как универсального измерительного инструмента в ряде случаев связано с трудностями, особенно при количественном анализе интерференционных картин полос [3]. Проблема состоит в том, что интерферограммы, полученные на практике и характеризующие напряженно-деформированное состояние исследуемого объекта, достаточно сложные и их количественный анализ требует значительных временных затрат. Кроме этого, интерферограмма не содержит достаточного количества информации, позволяющей определить знак поверхностного смещения точек исследуемого объекта, т.е. переместилась ли

поверхность от действия эксплуатационных нагрузок по направлению к наблюдателю или от него. Для решения этой проблемы используются сложные оптические интерферометры, позволяющие реализовывать многоголограммный метод, который дает возможность определить три компоненты пространственного вектора перемещений [3]. Для определения знака перемещений используются специальные способы для наблюдения исследуемого объекта и выполнения эксперимента [3, 4]. Интенсивное развитие компьютерных технологий, программного обеспечения и алгоритмов обработки оптической информации позволило создать эффективные методы анализа голографических интерферограмм.

В настоящей статье представлена созданная система компьютерного анализа интерферограмм на основе оцифровки голографического изображения исследуемого объекта и использования несущих полос. Методика несущих полос и ее применение в интерферометрии известно [5–9]. Нами предложена эффективная методика их получения и простой алгоритм обработки интерферог-

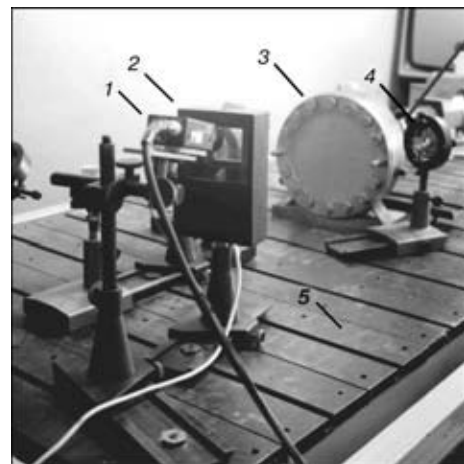


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки: 1 — CCD-камера; 2 — термопластическая камера; 3 — образец; 4 — оптический элемент; 5 — виброизолированный стол

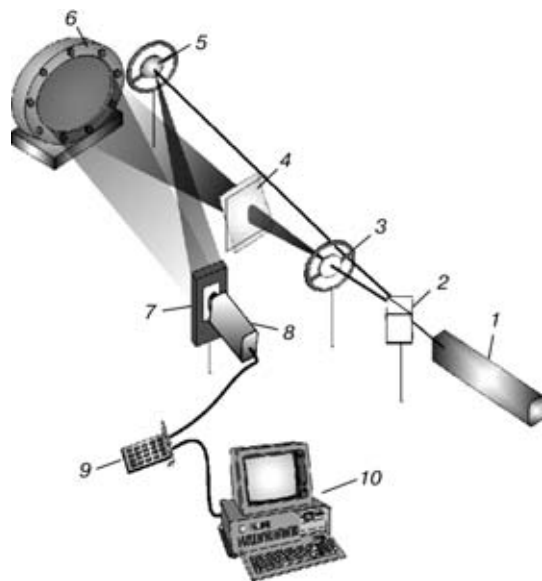


Рис. 2. Принципиальная оптическая схема голографического интерферометра, который использовался в эксперименте: 1 — лазер; 2 — делитель; 3 — линза; 4 — фазовая пластинка; 5 — рассеивающее зеркало; 6 — исследуемый образец; 7 — регистрирующая среда; 8 — CCD-камера; 9 — контроллер; 10 — компьютер

рамм. Основное ее преимущество заключается в том, что она позволяет решить проблему неопределенности знака, обычно присутствующую в интерференционных картинах полос. Кроме этого, методика несущих полос обеспечивает монотонность изменения фазы по поверхности объекта, а это позволяет применить для анализа картин полос автоматизированную систему и повысить чувствительность определения перемещений за счет измерения фазы, которая определяется с более высокой чувствительностью ( $\lambda/20$  по сравнению с определением порядка полос  $\lambda/2$ ). Созданная компьютерная система позволяет (если известна интерферограмма несущих полос) автоматически анализировать интерференционные полосы, возникающие на поверхности исследуемого объекта при его деформации и строить трехмерную диаграмму смещений контролируемой поверхности.

Для отработки методических вопросов, связанных с применением несущих полос при компьютерном анализе интерферограмм, решали задачу о перемещениях точек поверхности металлического диска под воздействием изгибающей нагрузки, приложенной в его центре, для которой известно аналитическое решение. Для этих целей изготавливали алюминиевый диск (диаметр 167, толщина 6 мм), который жестко зажимался по контуру с помощью специального механического устройства (рис. 1). С помощью такого устройства к заземленному по контуру диску в центре прикладывали заданную нагрузку. С тыльной стороны диска располагался динамометр, позволяющий контролировать величину прикладываемой нагрузки в центре диска. На рис. 2 показана оптическая схема интерферометра, который использовали при выполнении экспериментов. Фотография интерферограммы, полученной в реальном масштабе времени при нагружении диска осевой нагрузкой, показана на рис. 3, а. Интерференционные полосы,

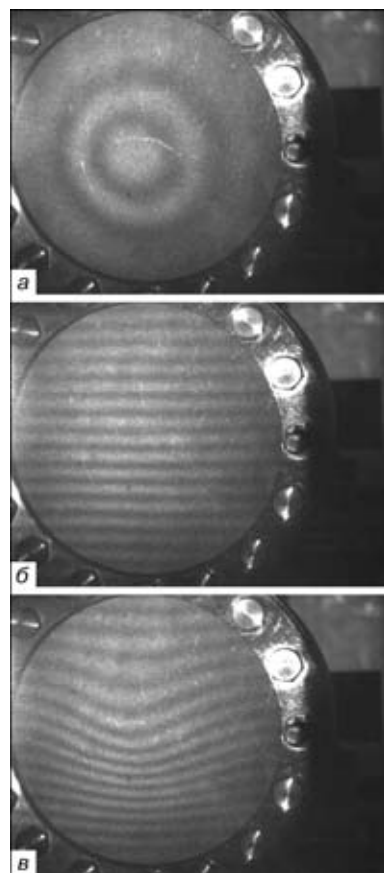


Рис. 3. Интерферограмма, полученная в реальном масштабе времени соответственно: а — при нагружении диска осевой нагрузкой; б — ненагруженного диска с системой несущих полос; в — суммарная деформационно-модулированная картина полос

возникающие при нагружении, представляют собой концентрические окружности. Следует отметить, что, анализируя только одну интерференционную картину полос, невозможно определить направление перемещения (деформации) исследуемой поверхности. Диск может быть выгнут либо внутрь, либо наружу, при этом вид полос не изменится. Кроме того, используя автоматический анализ, искривление полосы сложно интерпретировать из-за сложности запрограммировать компьютер так, чтобы он мог обнаруживать, когда одного и того же порядка полоса наблюдается в различных положениях на поверхности диска.

Один из методов решения этой проблемы (не прибегая к помощи оператора) состоит в том, чтобы получить начальную интерферограмму несущих полос с высокой пространственной частотой и объединить ее с интерференционной картиной полос, полученной при нагружении исследуемого объекта. Известно [6], что распределение интенсивности света на интерферограмме несущих полос записывается в виде:

$$I_0(x, y) = A_0(x, y) + B_0(x, y) \cos [\varphi_0(x, y)] = A_0(x, y) + B_0(x, y) \cos [2\pi f_0 y], \quad (1)$$

где  $x, y$  — координаты точки поверхности исследуемого объекта;  $A_0(x, y)$  — фоновая освещенность;  $B_0(x, y)$  — видимость полос;  $\varphi_0(x, y)$  — распределение фазы по поверхности исследуемого

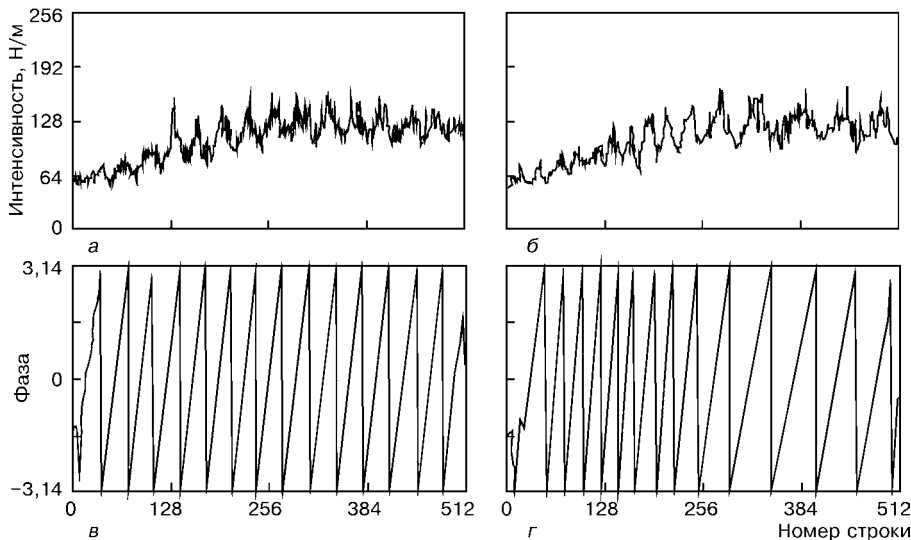


Рис. 4. Графики зависимости интенсивности и фазы вдоль сечения (вдоль оси  $Oy$ ) диска от номера строки для интерферограммы несущих (*a*, *в*) и деформационно-модулированных полос (*б*, *г*)

объекта, вызванное несущими полосами;  $f_0$  — частота несущих полос в  $y$ -направлении.

После нагружения исследуемого элемента распределение интенсивности на интерферограмме (с учетом модуляции несущими полосами) имеет следующий вид:

$$I_m(x,y) = A_m(x,y) + B_m(x,y) \cos [\varphi_m(x,y)] = A_m(x,y) + B_m(x,y) \cos [\varphi_0(x,y) + \Delta\varphi(x,y)] \quad (2)$$

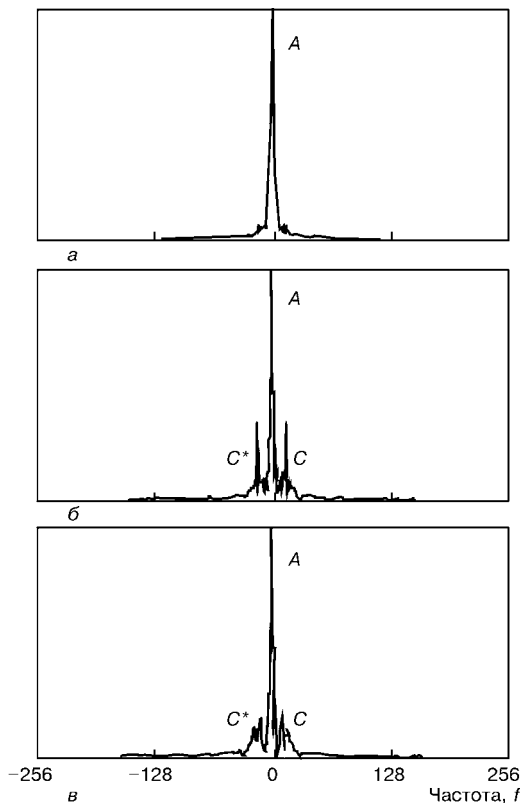


Рис. 5. Результат Фурье-преобразования диаграмм интенсивностей вдоль центрального сечения диска: *a* — при нагружении диска осевой нагрузкой; *б* — ненагруженного диска с системой несущих полос; *в* — нагруженного диска с системой несущих полос

где  $\Delta\varphi(x, y)$  — распределение фазы по поверхности объекта (вызванное его деформацией), которое необходимо определить.

Частота несущих полос (например, образованных наклоном фазовой пластинки 4 (см. рис. 2), которая размещается в оптической схеме интерферометра в объектном пучке) должна быть в несколько раз выше, чем максимальная частота полос, возникающая в деформированном диске. Максимальная частота интерференционных полос, вызванная деформацией исследуемого диска, автоматически определяется компьютером посредством быстрого Фурье-преобразования.

При этом необходимо учитывать, что максимальная частота создаваемых несущих полос ограничивается разрешением используемой CCD-камеры. На рис. 3, *б* показан внешний вид ненагруженного диска с системой несущих полос. В данном случае полосы были образованы путем наклона фазовой пластинки толщиной  $\delta = 2$  мм. Изменяя угол наклона, можно регулировать пространственную частоту несущих полос, которые покрывают поверхность ненагруженного диска. Картина несущих полос может быть создана также посредством наклона исследуемого диска, изменения ориентации опорного луча или самой голограммы. Поскольку направление наклона фазовой пластинки известно, знак порядков полос может быть однозначно установлен. На рис. 3, *в* представлена суммарная картина полос, когда интерферограмма диска записывалась при наличии несущих полос и полос, вызванных нагружением диска в его центре. При этом ни одна из интерференционных полос не возникает дважды при их подсчете вдоль вертикальной прямой от нижней части диска по направлению к верхней в любом месте диска. Образование интерференционных полос, вызванных деформацией диска при взаимодействии с несущими полосами, лишь увеличивает или уменьшает частоту несущих полос (расширяет или сужает расстояние между полосами), что позволяет легко определить увеличивается ли или уменьшается порядок полосы. Наличие в схеме интерферометра CCD-камеры позволяет оцифровать полученные интерференционные картины полос, с помощью разработанных программ обработать их и автоматически получить трехмерное изображение поверхности исследуемого диска.

Экспериментальные данные, необходимые для анализа картин полос с использованием метода несущих полос, включают оцифрованные изображения исследуемого образца: ненагруженного диска с интерференционной картиной несущих полос; изображение нагруженного диска с интерференционной картиной несущих полос, модулиро-



ванных интерференционными картинами полос, вызванными нагружением диска; информацию о направлении наклона фазовой пластины при образовании картины несущих полос. Последовательность операций при применении компьютерного анализа голографических интерферограмм с использованием несущих полос состоит в следующем. Используя термопластическую голографическую камеру, регистрируется голограмма ненагруженного диска. Затем фазовая пластинка наклоняется, например, на угол  $\approx 20^\circ$  относительно исходного состояния по направлению от наблюдателя. В реальном масштабе времени наблюдается картина параллельных несущих полос, покрывающих поверхность ненагруженного диска. Под действием приложенной в центре диска механической силы его центр смещается на 0,72 микрона в направлении наблюдателя и регистрируется еще одна интерференционная картина на поверхности диска (см. рис. 3, *в*). Учитывая, что направление наклона фазовой пластинки известно, вся информация, необходимая для анализа интерференционной картины и построения трехмерного изображения деформированной поверхности, заключается в этих двух фотографиях картин полос (см. рис. 3, *б*, *в*).

Для выполнения автоматизированного компьютерного анализа полученные изображения оцифровывались с помощью ССД-камеры в соответствии с вышеописанным способом. Для демонстрации методики обработки интерференционных картин полос в диске выбиралось вертикальное осевое сечение (вдоль оси  $0y$ ).

Диаграмма интенсивности света вдоль этой линии (сечения), сканируемой снизу вверх, показана на рис. 4, *а*, *б* для каждого из двух изображений (см. рис. 3, *б*, *в*). На рис. 4, *а* представлено изменение начальной интенсивности по поверхности ненагруженного, недеформированного диска с картиной несущих полос, а на рис. 4, *б* — изменение начальной интенсивности по поверхности нагруженного, деформированного диска. На рис. 4, *а* наблюдается в основном однородное синусоидальное распределение интенсивности по поверхности диска. В дополнение к синусоидальной картине несущих полос видна также низкочастотная составляющая интенсивности за счет Гауссова характера лазерного освещения. Результат Фурье-преобразования диаграмм интенсивностей, показанных на рис. 4, представлен на рис. 5, *б*, *в*.

Решение уравнения (2) с использованием классического Фурье-метода часто вызывает ряд трудностей, так как необходимо знание точного значения частоты несущих полос  $f_0$ , а также необходимо выполнить условие, обеспечивающее одинаковое расстояние между несущими полосами, что не всегда реализуемо на практике [8]. Поэтому Фурье-метод, используемый при обработке полос, в данной статье был модернизирован.

Используя комплексное представление функции косинуса, уравнение (2) переписывается в виде:

$$I_m(x, y) = A_m(x, y) + C_m(x, y) + C_m^*(x, y), \quad (3)$$

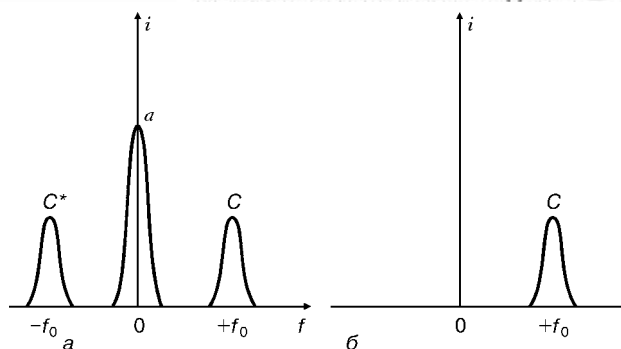


Рис. 6. Фурье-спектр до (*а*) и после полосовой фильтрации (*б*)

где

$$C_m(x, y) = \frac{1}{2} B_m(x, y) \exp [j(2\pi f_0 y + \Delta\varphi(x, y))], \quad (4)$$

а  $C_m^*(x, y)$  — комплексно сопряженное к  $C_m(x, y)$ .

Применяя к уравнению (3) Фурье-преобразование относительно  $y$  получим:

$$i_m(x, f) = a_m(x, f) + c_m(x, f) + c_m^*(x, f), \quad (5)$$

где  $f$  — пространственные частотные координаты.

Поскольку  $\Delta\varphi(x, y)$ ,  $A_m(x, y)$  и  $B_m(x, y)$  медленно меняются по сравнению с несущей частотой  $f_0$ , функция  $i_m(x, f)$  будет иметь три ярко выраженных пика на частотах  $+f_0, 0, -f_0$  (рис. 6, *а*). Функцию  $c_m(x, f)$  изолируем с помощью фильтра, центрированного вокруг  $f_0$  (рис. 6, *б*). Применяя обратное Фурье-преобразование к  $c_m(x, f)$ , получим функцию  $C_m(x, y)$ , определенную уравнением (4), логарифмируя которое получим:

$$\log [C_m(x, y)] = \log \left[ \frac{1}{2} B_m(x, y) \right] + j[2\pi f_0 y + \Delta\varphi(x, y)]. \quad (6)$$

Выделяя комплексную часть из уравнения (6), найдем распределение фазы  $\varphi_m(x, y)$  по всей поверхности исследуемого объекта:

$$\varphi_m(x, y) = 2\pi f_0 y = \Delta\varphi(x, y) = \varphi_0(x, y) + \Delta\varphi(x, y). \quad (7)$$

Таким образом, для того чтобы найти распределение фазы  $\Delta\varphi(x, y)$ , необходимо точно знать частоту несущих полос  $f_0$  или распределение  $\varphi_0(x, y)$ , которое можно найти из уравнения (1). Решая его относительно  $\varphi_0(x, y)$  по аналогии с (3), после Фурье-преобразования уравнения получим:

$$i_0(x, f) = a_0(x, f) + b_0(x, f - f_0) + b_0^*(x, f + f_0). \quad (8)$$

Выделяя функцию  $b_0(x, f - f_0)$  с помощью фильтра, центрированного вокруг  $f_0$ , применяли к ней обратное Фурье-преобразование, логарифмировали и, выделяя комплексную часть, находили неизвестное слагаемое  $\varphi_0(x, y)$ , а затем и распределение фазы  $\Delta\varphi(x, y)$ , соответствующее интерферограмме исследуемого объекта:

$$\Delta\varphi(x, y) = \varphi_m(x, y) - \varphi_0(x, y). \quad (9)$$

Полученное распределение неопределенно с точностью до множителя  $2\pi$ , возникающего из-за периодичности функции косинуса. С помощью простого алгоритма программа автоматически обнаруживает

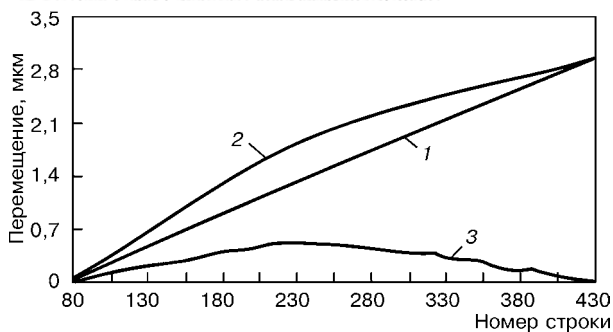


Рис. 7. График зависимости перемещений точек поверхности от номера строки вдоль центральной линии: 1 – перемещения, соответствующие картине несущих полос; 2 – то же соответствующее деформационно-модулированным полосам; 3 – реальные перемещения, соответствующие деформации объекта

скачки фазы и находит неизвестный множитель. Количественное значение векторов перемещения точек поверхности исследуемого объекта может быть найдено, зная распределение фазы  $\Delta\varphi(x, y)$  и параметры оптической схемы

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta\vec{r} \cdot (\vec{p}_0 - \vec{p}), \quad (10)$$

где  $\Delta\vec{r}$  – вектор перемещения точек объекта между экспозициями,  $\vec{p}_0$  – орт-нормали к фронту освещающей волны в точке,  $\vec{p}$  – орт-направления наблюдения точки,  $\lambda$  – длина волны источника когерентного излучения,  $\Delta\varphi$  – суммарный сдвиг фаз волн.

Приведенный алгоритм не требует при выполнении анализа параллельности и прямолинейности несущих полос. Единственным условием его успешного использования является обеспечение частоты несущих полос, которая должна быть выше, чем максимальная частота интерференционных полос, вызванная деформацией исследуемого объекта. Это автоматически определяется компьютером посредством быстрого Фурье-преобразования. Данное требование необходимо для разделения пиков интенсивности в Фурье-спектре (см. рис. 6, а).

Важными особенностями частотного спектра для ненагруженного диска (см. рис. 5, б) является наличие двух острых пиков С и С\* на частоте несущих полос, пик А низкой частоты, представляющей Гауссово распределение интенсивности

освещения лазерным лучом, а также высокочастотный шум вследствие спеклов и ограничений оптической схемы (электронный шум и т. д.). Рис. 5, в, который дает аналогичную информацию для нагруженного диска (несущие плюс деформационные полосы) показывает, что деформация вызывает модуляцию частоты исходной картины несущих полос, причем необходимая информация представлена теперь как пик С спектра частот.

Анализируя спектр недеформированного изображения (рис. 5, б), компьютерная программа устанавливает узкую полосу пропускания вокруг пика С. Все частоты, находящиеся вне пределов этой полосы, устраняются. Затем компьютерная программа контролирует спектр деформированного (несущая плюс деформация) изображения (рис. 5, в) и обрезает пики А и С\*, а также все частоты, на которых уровень сигнала упал до уровня шума. В соответствии с алгоритмом, с помощью обратного Фурье-преобразования отфильтрованный спектр С после логарифмирования и выделения комплексной части представляется в виде зависимости фазы от номера пикселя (см. рис. 4, в, г). Далее программа автоматически обнаруживает скачки фазы и устраняет их.

На рис. 7 представлен график зависимости перемещений от номера строки вдоль вертикальной центральной линии как для ненагруженного, так и для нагруженного диска. Кривая 1, полученная для ненагруженного диска, представляет собой простую синусоидальную картину полос по поверхности диска. Кривая 2, полученная в нагруженном состоянии, соответствует медленному фазовому переходу по нижней части диска, где полосы интенсивности были отделены интервалом, а затем быстрому фазовому переходу по верхней части диска, где полосы сжаты вместе. Поскольку кривая 1 (см. рис. 7) дает информацию о распределении фазы несущих полос, а кривая 2 – соответствующую информацию для деформационно-модулированной картины полос, следующий шаг заключается в вычитании этих двух кривых. Кривая 3 представляет профиль внеплоскостной деформации поверхности диска по вертикальной центральной линии, проведенной от нижней части к верхней.

Автоматическое повторение предыдущих этапов анализа интерференционных картин полос для каждого отфильтрованного столбца сечения обеспечивает описание внеплоскостной деформации по всему полю диска. Этот конечный результат приведен на рис. 8, который представляет собой диаграмму поверхности деформированного диска, полученную посредством компьютерной графики.

На основании представленной методики выполнялись эксперименты по выявлению дефектов в плоских металлических элементах. С этой целью использовалась круглая

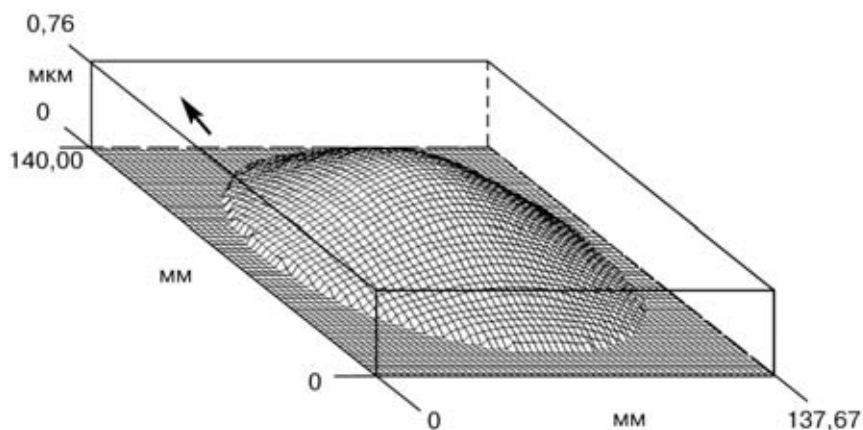


Рис. 8. Диаграмма поверхности деформированного диска, обусловленная приложением осевой силы

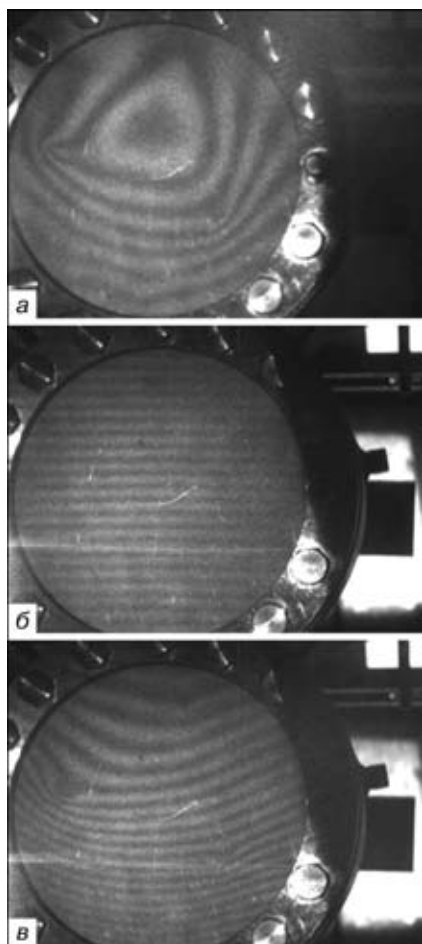


Рис. 9. Интерферограммы диска с дефектами соответственно: *a* — под действием температурного нагружения; *b* — ненагруженного с системой несущих полос; *в* — суммарная деформационно-модулированная картина полос

алюминиевая пластина диаметром 167 мм, толщиной 6 мм, в которой с обратной стороны были внесены искусственные дефекты (четыре прорези) с параметрами, описанными в таблице.

**Параметры искусственных дефектов, внесенных в алюминиевую пластину**

Длина дефекта, мм	Ширина дефекта, мм	Глубина дефекта, мм
15	0,7	1,5
15	1,2	1,5
7	0,7	1,7
5	0,7	2,0

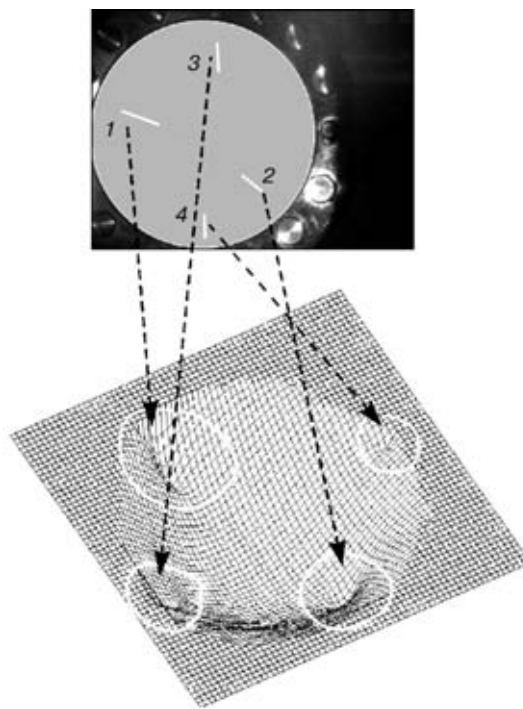


Рис. 10. Объемная псевдотрехмерная диаграмма, характеризующая наличие дефектов в диске

Расстояние между дефектами выбиралось таким, чтобы соседние дефекты не влияли друг на друга. Пластина жестко крепилась по контуру в механическом нагрузочном устройстве. В качестве нагружения использовался термический обдув образца с расстояния  $\approx 2$  см при температуре  $\approx 50$  °С специальным нагревательным устройством в течение 30 с. На рис. 9, *a* представлена интерферограмма деформированного диска под действием температурного нагружения. По локальному искажению картин полос визуально наблюдаются только три из четырех заложенных в диске дефектов. На рис. 9, *b, в* приведены соответственно интерферограмма несущих полос и деформационно-модулированная. Следуя вышеописанному алгоритму, интерферограммы были обработаны до получения объемной диаграммы (рис. 10), характеризующей смещения точек поверхности диска из плоскости, на которой четко видны все четыре заложенных искусственных дефекта. На фоне равномерной деформации, обусловленной нагружением, видна локальная концентрация деформаций (перемещений), характеризующая наличие дефектов, внесенных искусственным способом.

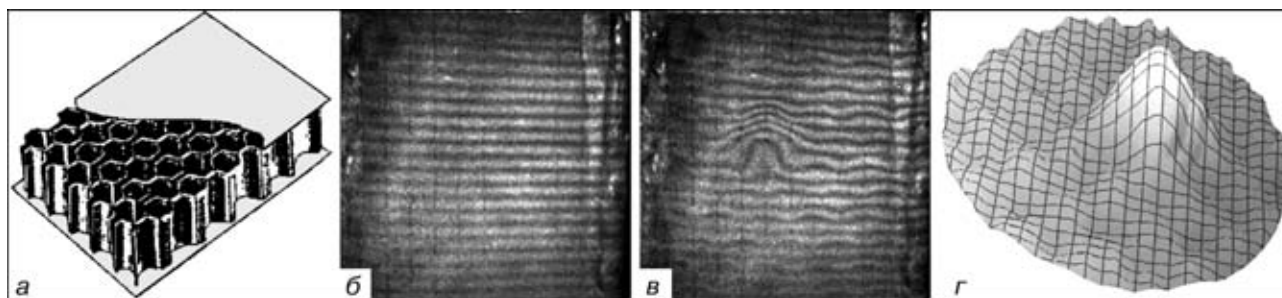


Рис. 11. Контроль дефектности элемента сотовой конструкции: *a* — схема элемента сотовой панели; *b* — интерферограмма ненагруженного элемента с системой несущих полос; *в* — интерферограмма деформированного элемента с системой несущих полос; *г* — объемная псевдотрехмерная диаграмма, характеризующая наличие дефектов в исследуемом элементе



Предложенная методика позволила также выполнить контроль дефектности в элементе паяно-сварной сотовой конструкции (рис. 11, а) размером 150×200×15 мм, изготовленной из нержавеющей стали.

На рис. 11, б приведена картина несущих полос на поверхности исследуемого элемента. Нагружение сотового элемента выполнялось внутренним давлением с помощью воздуха. Деформационно-модулированная интерферограмма поверхности образца приведена на рис. 11, в. Локальное искривление полос характеризует дефектный участок сотового элемента (отсутствие качественной пайки). На рис. 11, г построена объемная диаграмма, характеризующая смещения точек поверхности под действием внутреннего давления. На фоне перемещений, вызванных сотовой структурой образца, наглядно виден дефектный участок, обусловленный некачественным соединением ячеек сот с плоским листом.

### Заключение

Разработана усовершенствованная методика несущих полос, используемая при анализе голографических интерферограмм, которая успешно применялась в исследованиях центрально нагруженного диска. Создание несущих полос позволило разрешить проблему неопределенности знака, что дало возможность выполнить автоматическую обработку интерферограмм. Предложенный математический алгоритм компьютерной обработки интерференционных картин на основе использования несущих полос и анализ Фурье-спектра оптиче-

ского сигнала позволяет получать трехмерные изображения поверхности контролируемого объекта, а также определять участки концентрации деформаций, вызванных присутствием внутренних дефектов.

Созданная компьютерная система открывает новые возможности для автоматического анализа интерференционных картин полос, характеризующих качество объектов при их неразрушающем контроле.

1. *Кольер Р., Беркхарт К., Лип Л.* Оптическая голография. — М.: Мир, 1973. — 686 с.
2. *Rastogi P. K., Inaudi D.* Trends in optical non-destructive testing and inspection. — Oxford: Elsevier Science B. V., 2000. — 633 p.
3. *Островский Ю. И., Щенинов В. П., Яковлев В. В.* Голографические интерференционные методы измерения деформаций. — М.: Наука, 1988. — 248 с.
4. *Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений / Б. С. Касаткин, А. Б. Кудрин, Л. М. Лобанов и др.* — Киев: Наук. думка, 1981. — 584 с.
5. *Matthys D. R., Dudderar T. D., Gilbert J. A.* Automated analysis of holoferograms for the determination of surface displacement // *Experimental Mechanics*. — 1988. — № 3. — P. 86–91.
6. *Takeda M., Ina H., Kobayashi S.* Fourier-transform method of fringe-pattern analysis for computer-based topography and interferometry // *J. Opt. Soc. Am.* — 1982. — **72**. — С. 156–160.
7. *Kujawinska M., Osten W.* Fringe pattern analysis methods: up-to-date review // *Proc. SPIE*. — 1998. — **3407**. — P. 56–66.
8. *Kreis Th., Juptner W.* Fourier-transform evaluation of interference pattern: the role of filtering in spatial-domain in laser interferometry: Quantitative analysis of interferograms, ed. by R. J. Pryputniewicz *SPIE Proc.* — 1989. — **1162**. — P. 116–125.
9. *Huntley J. M., Coggrave C. R.* Progress in phase unwrapping. *Proc. SPIE*. — 1998. — **3407**. — P. 86–93.

The system for computer analysis of holographic interference patterns, based on digitisation of the holographic image of an object investigated and utilisation of the method of carrier fringes, is described. The efficient procedure for producing them and the simple algorithm for processing the interferometry patterns are suggested. The carrier fringe method allows the problem of uncertainty of the sign, which is always present in the interference fringe patterns, to be solved. Examples are given of the application of the above procedure to monitor defects in honeycomb structure members and flat samples.

Поступила в редакцию 05.04.2002