

УДК 621.983: 539.373

Фролов Е. А.
Агарков В. В.
Корнеев С. В.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ БЛОКОВ УНИВЕРСАЛЬНО-СБОРНЫХ ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМЫХ ШТАМПОВ МЕТОДОМ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений получили широкое применение для решения инженерных задач по оценке прочности, жесткости деталей машин и элементов конструкций, когда требуется определение полей деформаций и напряжений, как на поверхности, так и в объеме тела. Главное преимущество экспериментальных методов перед расчетными – возможность учета конструктивных особенностей объекта и получение прочностных характеристик в производственных условиях.

К наиболее применяемым экспериментальным методам относят: метод измерения поверхностных деформаций с помощью тензометров, метод муаровых полос и сеток, поляризационно-оптический метод, метод голографической интерферометрии. Несмотря на обилие экспериментальных методов, имеются лишь считанные работы по исследованию базовых плит штампов, проведенные с помощью голографической интерферометрии [1–3].

Целью работы является исследование напряженно-деформированного состояния блоков универсально-сборных переналаживаемых штампов.

Метод голографической интерферометрии основан на регистрации амплитудной и фазовой характеристик световой волны рассеянной исследуемым объектом, который может иметь как прозрачную так и диффузно отражающую поверхность.

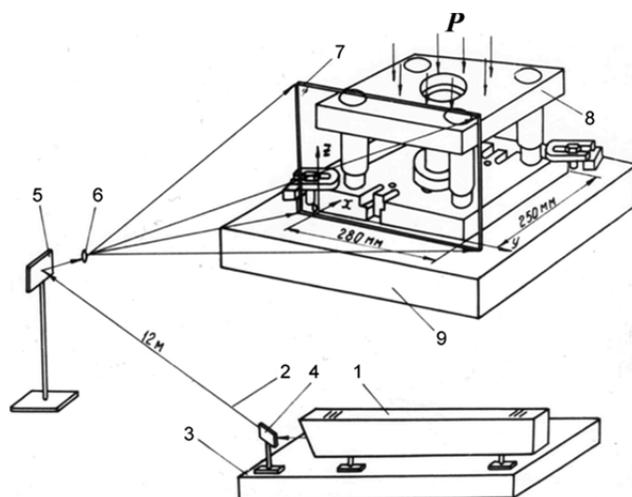


Рис. 1. Схема исследования блока универсально-сборного переналаживаемого штампа (УСПШ) методом голографической интерферометрии:

- 1 – лазер ЛГН-125; 2 – луч лазера; 3 – станина;
- 4, 5 – зеркала; 6 – расширитель лазерного пучка;
- 7 – регистрирующая среда; 8 – блок УСПШ

Методы измерения полей деформаций исследуемых объектов при помощи голографической интерферометрии основаны на интерференции световой волны, восстановленной с голограммы и создающей изображение объекта, и световой волны, рассеянной самим объектом либо между световыми волнами, зарегистрированными до и после нагружения исследуемого объекта. Полученная в результате двойной экспозиции голограмма несет информацию об упругих деформациях на видимых поверхностях объекта (рис. 1).

Особенностью использованной схемы применения голографических методов исследования в нестационарных условиях является отсутствие жесткой механической связи между объектом наблюдения, элементами схемы и лазером. Рас-

пространенная в настоящее время точка зрения на применяемость голографической интерферометрии состоит в том, что для проведения измерений методами голографии необходимы высокая виброзащищенность голографических установок и жесткая механическая связь между составными частями системы «лазер – элементы оптической схемы – объект».

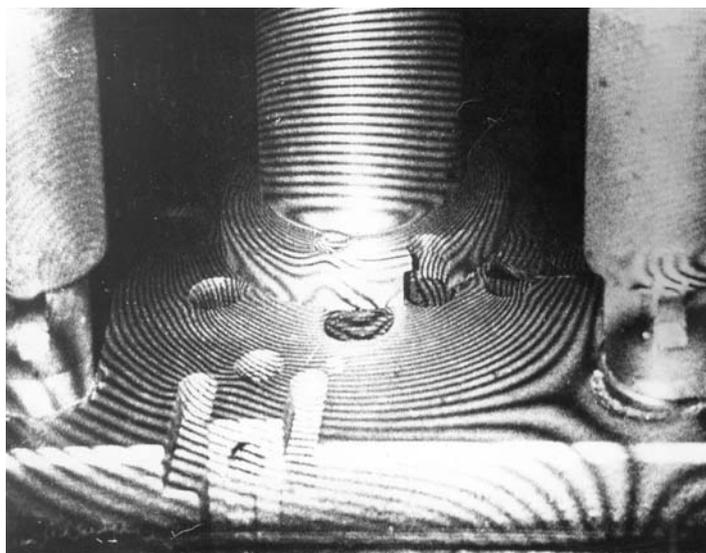


Рис. 2. Голографическая интерферограмма деформированного состояния нижней базовой плиты блока

Однако, применяя разработанную методику измерений с использованием голограмм во встречных пучках при закреплении регистрирующей среды непосредственно на исследуемом объекте, удалось провести голографирование блока на работающем гидравлическом прессе.

Применение описанной методики позволило получить голографическую интерферограмму деформированного состояния нижней базовой плиты переналаживаемого штампа (рис. 2). Качественный анализ полученной картины изофаз, т. е. интерференционных полос одинаковых разностей фаз опорной и предметной волн, свидетельствует о неоднородном распределении деформаций по поверхности исследуемой плиты и показывает зоны их максимальной концентрации.

Расшифровка и количественная интерпретация картин изофаз в принятой система координат $Oxyz$ производилась с использованием следующего уравнения зависимости интерференционных полос от компонентов вектора перемещения и параметров применявшейся схемы.

$$U_{y_i} \cos \beta_i + U_{x_i} \cos \gamma_i + U_{z_i} (1 + \cos \alpha_i) = N_i \lambda, \quad (1)$$

где λ – длина волны лазера (равна 0,63 мкм); N_i – порядок интерференционных полос; $\cos \alpha_i$, $\cos \gamma_i$, $\cos \beta_i$ – направляющие косинусы i -го направления наблюдения; U_{x_i} , U_{y_i} , U_{z_i} – проекции вектора перемещения точек поверхности объекта $\Delta \vec{r}$ на координатные оси x , y , z соответственно.

Запись голограммы для определения компонент U_x и U_y производилась по схеме, изображенной на рис. 1.

Голограмма во встречных пучках, записанная при расположении регистрирующей среды в непосредственной близости к измеряемой поверхности, является и спекл-фотографией двойной экспозиции. Поэтому для количественной оценки компонент U_x и U_y , лежащих в плоскости голограммы, можно применить метод поточечного сканирования.

По методу поточечного сканирования просвечивают каждую из интересующих точек на спекл-фотографии. По интерференционным полосам, возникающим на экране за спекл-фотографией, определяют проекции векторов перемещений точек поверхности объекта на плоскость, нормальную направлению наблюдения.

В результате расшифровки картины интерференционных полос и пересчета полученных значений перемещений на максимальное для рассматриваемого блока усилие штамповки, равное 450 кН, были получены величины прогибов нижней базовой плиты по всей заголографированной области.

На рис. 3 приведены графики вертикальных перемещений U_z точек поверхности плиты при $z = 45$ мм в различных сечениях. Условное соединение некоторых точек на графиках пунктиром соответствует попавшим в сечение различным отверстиям и вырезам, выполненным в исследовавшейся плите.

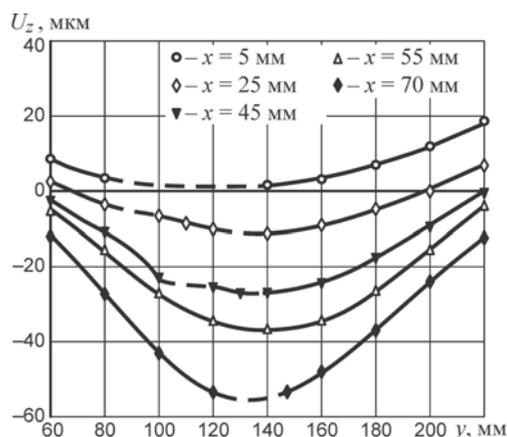


Рис. 3. Перемещение в направлении оси z верхней поверхности нижней плиты блока

Установлено также, что применение крепежных болтов М20 не позволяет полностью устранить отрыв даже закрепляемых углов плиты блока от подштамповой плиты прессы, уменьшая его по сравнению с симметрично расположенными незакрепленными зонами примерно в четыре раза.

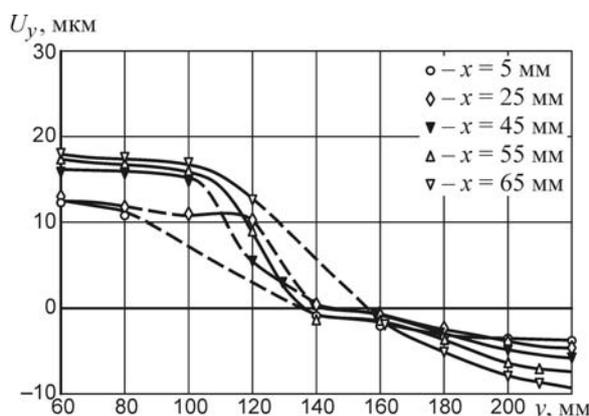


Рис. 4. Перемещение верхней поверхности плиты в направлении оси y

перемещений U_y возрастает с удалением рассматриваемого сечения $x = const$ от боковой поверхности плиты $x = 0$ и принимает максимальную величину $U_y = 0,017$ мм при $x = 65$ мм, $y = 60$ мм (расшифровка картины интерференционных полос производилась на интервале $0 < x < 70$ мм, $60 \text{ мм} < y < 220$ мм).

Перемещения левой половины плиты (закрепленный угол) почти вдвое превосходят перемещения симметричных точек правой половины плиты. Объяснить это можно тем, что захваты, ограничивая вертикальное перемещение плиты, не препятствуют ее горизонтальному перемещению.

Значение перемещений в направлении оси x , полученные при расшифровке голограммы (рис. 5) показывают, что максимальные перемещения наблюдаются у осевого сечения плиты $y = 140$ мм. Независимо от рассматриваемого сечения плиты по оси y перемещения U_x увеличиваются от края плиты ($x = 0$) к ее центральной области ($x = 70$ мм).

Симметричность конструктивной формы плиты и прикладываемой нагрузки позволяют предположить, что и перемещения в направлении оси x должны быть практически симметричны.

Из графиков перемещений следует, что под действием усилия штамповки центральная область плиты перемещается вниз. Величина максимального прогиба, полученная при расшифровке голограммы, оказалась равной 0,056 мм в точке с координатами $x = 70$ мм, $y = 130$ мм. Края плиты наоборот приподнимаются вверх (отрываются) от плоскости основания – углы больше, середина меньше. Максимальный отрыв наблюдался у незакрепленного угла плиты и в точке e координатами $x = 5$ мм, $y = 220$ мм принимал значений $W = 0,018$ мм.

Установлено также, что применение крепежных болтов М20 не позволяет полностью устранить отрыв даже закрепляемых углов плиты блока от подштамповой плиты прессы, уменьшая его по сравнению с симметрично расположенными незакрепленными зонами примерно в четыре раза.

Благодаря применению голографической интерферометрии были также получены значения перемещений в плоскости плиты U_x , U_y , которые не удалось получить теоретически и другими экспериментальными методами. Как видно из графических зависимостей (рис. 4), перемещение верхней поверхности плиты в направлении оси y происходит к центру плиты, о чем свидетельствуют противоположные знаки перемещений точек плиты, лежащих справа и слева от центральной оси плиты $y = 140$ мм и равенство нулю перемещений в области этой оси. Величина перемещений в области этой оси.

Величина перемещений в области этой оси.

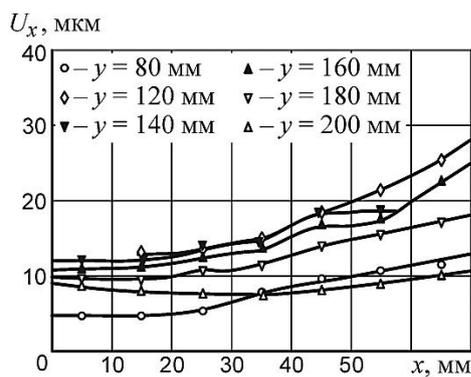


Рис. 5. Перемещение верхней поверхности плиты в направлении оси x

Следовательно, перемещения U_x в осевом сечении плиты ($x = 125$ мм) должны отсутствовать, а возрастание перемещений на рассматриваемом интервале $0 < x < 70$ мм должно смениться убыванием величины перемещений и переменной знака перемещений на интервале $125 \text{ мм} < x < 250$ мм.

Величины горизонтальных смещений точек исследуемой поверхности базовой плиты U_x и U_y методом разностного дифференцирования были преобразованы в значения соответствующих относительных деформаций ε_x (рис. 6) и ε_y (рис. 7), на основании которых были получены значения напряжений σ_x и σ_y , возникающих на поверхности плиты при ее нагружении усилием штамповки.

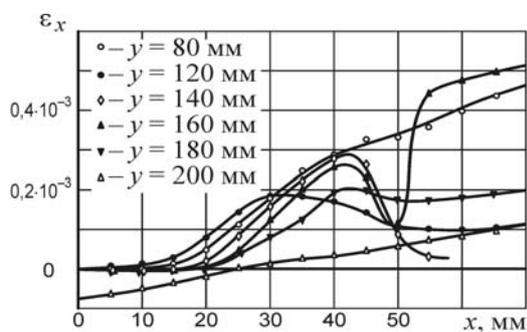


Рис. 6. Деформации верхней поверхности плиты в направлении оси x

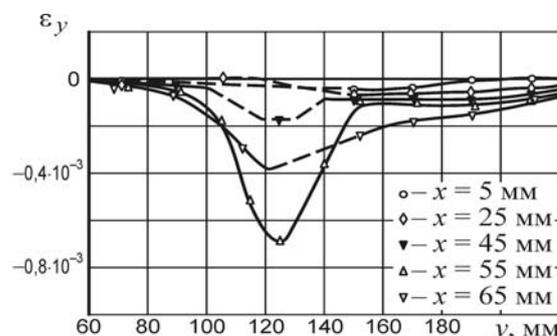


Рис. 7. Деформации верхней поверхности плиты в направлении оси y

На рис. 8–11 показаны графики распределения нормальных напряжений вдоль осей x и y . Характер распределения напряжений показывает, что они имеют тенденцию увеличивать свое значение по мере приближения к центру плиты. Несимметричность распределения напряжений вдоль оси y и «всплески» величин напряжений объясняются наличием прихватов и различными конструктивными особенностями (отверстия, вырезы), которые представляют собой источники концентрации напряжений, приводящие к значительному возрастанию их величин.

Нормальные напряжения σ_y в направлении оси y (рис. 8) в основном являются сжимающими, напряжения σ_x (рис. 9) вдоль той же оси — растягивающие у края плиты, а при приближении к центру (сечения $x = 55$ мм, $x = 65$ мм) у оси $y = 140$ мм напряжения меняют знак и становятся сжимающими. В направлении оси x напряжения σ_x (рис. 10) в основном растягивающие, а напряжения σ_y (рис. 11) — сжимающие.

Полученные голографической интерферометрией максимальные сжимающие напряжения достигали величины $\sigma_y = 120$ МПа и наблюдались в области с координатами $y = 120$ мм, $\sigma_x = 55$ мм. В плите это место расположено между двумя круговыми вырезами: вырезом под пазовые фиксаторы и вырезом под систему крапления пакета.

Максимальные растягивающие напряжения $\sigma_x = 105$ МПа были зарегистрированы при $y = 160$ мм, $x = 65$ мм между отверстиями под пазовые фиксаторы и отверстиями под систему выталкивателей. В процессе эксперимента была заголографирована только часть поверхности

базовой плиты, поэтому нет оснований для заключения, что полученные максимальные напряжения являются глобальными экстремумами функции распределения напряжений. Зарегистрированные локальные экстремумы напряжений возникают в местах плиты, имеющих концентраторы напряжений, и могли быть получены только экспериментальным методом.

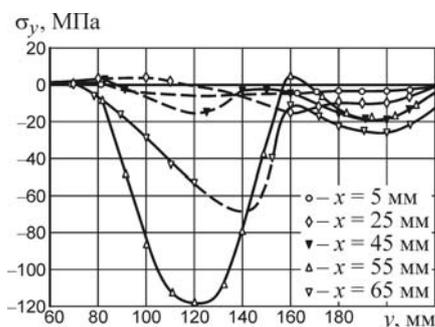


Рис. 8. Распределение напряжений σ_y в направлении оси y

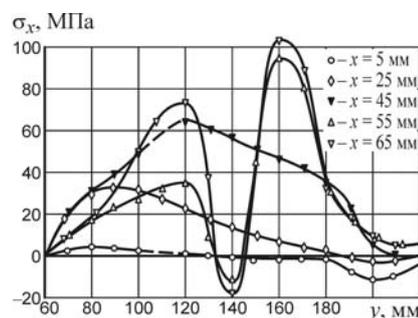


Рис. 9. Распределение напряжений σ_x в направлении оси y

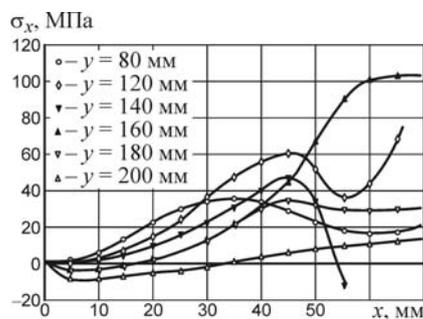


Рис. 10. Распределение напряжений σ_x в направлении оси x

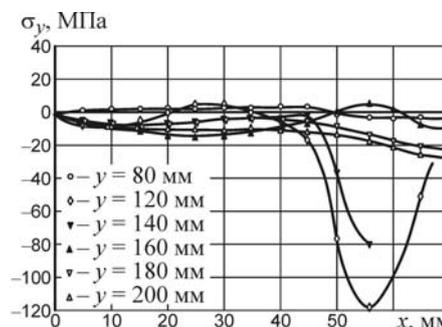


Рис. 11. Распределение напряжений σ_y в направлении оси x

ВЫВОДЫ

Методом голографической интерполяции получены уточненные зависимости распределения перемещений характерных точек в исследуемых элементах блоков универсально-сборных переналаживаемых штампов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мовшиович А. Я. Система универсально-сборных штампов для листовой штамповки [Текст] / А. Я. Мовшиович. – М. : Машиностроение, 1997. – 285 с.
2. Сторожев М. В. Теория обработки металлов давлением [Текст] / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1971. – 580 с.
3. Кузнецова Л. Г. Расчет матриц для листовой штамповки методом конечных элементов [Текст] / Л. Г. Кузнецова, Ю. М. Свиридов // Вестник национального технического университета «ХПИ» : сб. науч. тр. Нац. техн. ун-та «ХПИ». – № 11. – X., 2001. – С. 38–43.

Фролов Е. А. – д-р техн. наук, проф. УкрГАЖТ;
 Агарков В. В. – соискатель УкрГАЖТ;
 Корнеев С. Н. – соискатель УкрГАЖТ.

УкрГАЖТ – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г. Харьков.

E-mail: andr_gum@ukr.net

Статья поступила в редакцию 27.03.2012 г.