ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2001. Т. LIV, № 2.

УДК 620.16 МАШИНОСТРОЕНИЕ

С.А. ГАСПАРЯН, Г.Л. СЛКУНИ

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННО – ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Проведено экспериментальное исследование распределения напряжений шпоночного соединения с учетом способа передачи нагрузки методом фотоупругости. Описана методика реализации эксперимента с использованием компьютерного интерфейса. Дана оценка влияния параметров нагружения и размеров на максимальные значения напряжений и их градиентов.

Ключевые слова: шпоночное соединение, изохромы, интерфейс, концентрация напряжений, градиент напряжений.

Оценка эксплуатационной долговечности деталей машин предусматривает необходимость применения вероятностных характеристик усталостной прочности образцов. Возникновение и рост усталостной трещины обуславливаются градиентом напряжений на месте их концентрации [1]. С учетом этого на основе постулата “наиболее слабого звена” построена статистическая теория подобия усталостного разрушения для описания влияния конструктивных факторов на характеристики сопротивления усталости натурных деталей по условию появления первой макроскопической трещины [2] посредством критерия подобия $L/\vec{G}$. При этом оценка усталостной прочности деталей машин возможна при наличии диаграммы распределения напряжений в зоне их концентрации, что предопределяет относительный градиент $\vec{G} = G/\sigma_{max}$ и периметр рабочего сечения детали L. С этой целью представляется необходимым исследование напряженного состояния шпоночной канавки для уточнения распределения напряжений вдоль периметра концентратора с учетом влияния соотношения вращающего и изгибающего моментов, а также изменения длины канавки для выявления ее оптимального значения. Построение значения критерия подобия для предсказания усталостной долговечности валов-шпоночных соединений следует реализовать с учетом влияния вышеупомянутых параметров. Рассматривается наиболее применяемая в технике шпоночная канавка полукругового очертания в виде сквозного отверстия, учитывая, что концентрация напряжений канавки возникает вследствие совместного действия полукруга и галтели на дне канавки, а влияние последнего не отражается на общем характере распределения напряжений вдоль периметра скругления канавки.

Исследование закономерностей концентрации напряжений осуществлялось поляризационно-оптическим методом, выявляющим общую картину распределения напряжений вдоль контура шпоночной канавки. Суть этого метода заключается в том, что при нагружении вследствие двойного лучепреломления некоторых материалов наблюдается циклическое изменение интенсивности света, которое выражается

ввиду интерференции чередующимися полосами полного гашения света – изохромами [3].

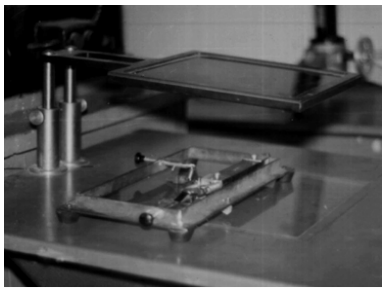
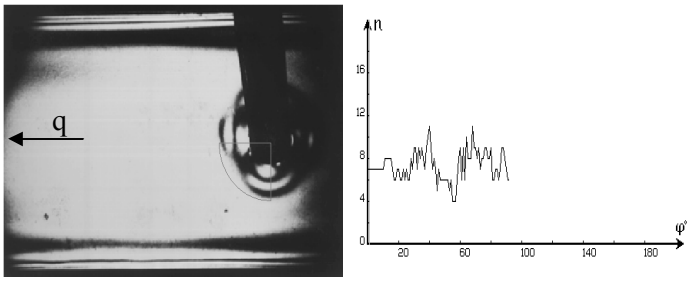


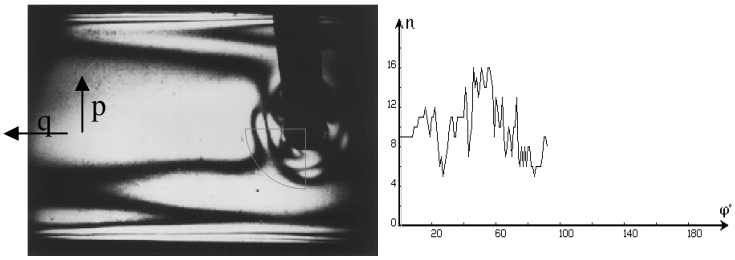
Рис.1

Опыты проводились на образцах, изготовленных из эпоксидной смолы, имеющей наилучшую оптическую чувствительность к двойному лучепреломлению, приобретаемому при возникновении в них напряжения. Образцы, имитирующие шпоночное соединение, выполнены в виде стержней прямоугольного сечения размером 125x25x4 *мм* со шпоночными отверстиями посередине, вставленными в них стальными призматическими шпонками разной длины ℓ=(1...4)d и ширины d=6 *мм*. Для снятия остаточных напряжений образцы подвергались обжигу при 100° С со скоростью нагрева и охлаждения около 2 *град/час*. Модуль упругости и предел прочности использованной эпоксидной смолы при комнатной температуре составляют примерно 320 *МПа* и 85 *МПа* соответственно. Опыты проводились на полярископах диффузионного типа ПКС-125 и Меопта (рис.1), обеспечивающих удовлетворительную точность полученных результатов для данного класса задач исследований. Нагружение образцов производилось приспособлением, при помощи пружин обеспечивалось приложение в регулируемых соотношениях растягивающих усилий в продольном и поперечном (через шпонку) направлениях, имитирующих тем самым изгиб вала и передачу крутящего момента. В использованных полярископах образцы просвечивались белым светом, создающим картину цветных полос изохром, которые позволяют повысить точность измерений в областях с небольшой величиной двойного лучепреломления. Для данной плоской задачи с учетом того, что на контуре концентратора $\sigma_2 = 0$, зависимость между двойным лучепреломлением и напряжением выражается в виде $n=Ct\sigma_1 / \lambda$, где λ - длина волны света; n – порядок (число) полос изохром; C= 13 – оптическая чувствительность материала по напряжениям; t – толщина образца по линии просвечивания. Тарировка проводилась на исследуемых образцах, исключая определение оптической постоянной материала в процессе фотографирования (самотарируемая модель). Напряжение в любой точке выражается в безразмерном виде, при этом порядок полос в соответствующих точках определялся методом фотографирования – вычерчиванием графика изменения порядка полос вдоль некоторой линии. Интерполирование в рассматриваемой точке производилось с помощью этого графика, предварительно используя

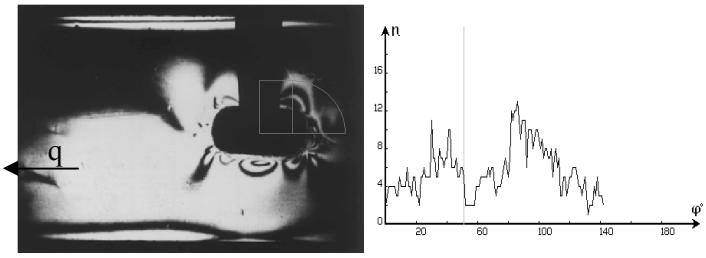
компенсацию порядка изохром методом Фриделя при помощи компенсатора Сенармона (пластинки $\lambda/4$ в сочетании с вращающимся анализатором, встроенные в полярископы), устанавливая наибольшую разность хода и применяя таблицу интерференционных цветов в зависимости от разности хода при проведении опыта белым светом. Обработка результатов опытов реализовалась использованием интерфейса – совокупностью средств и правил передачи опытных данных от испытательного оборудования к компьютеру в процессе проведения исследования. В качестве интерфейса применялась электронно-цифровая фотокамера для передачи интерференционной фотокартины от полярископа к компьютеру и обработки ее с помощью разработанной программы. Программа обработки написана на языке Borland Delphi. Окно операционной системы имеет параметр “канва” (область прорисовки – матрицу), элементы которого вносят значения яркости в соответствующей точке (пикселе). Полученное от фотокамеры изображение выводится на канву. Направление, вдоль которого лежат исследуемые точки канвы, задается вектором из некоторой точки $A(x_a,y_a)$ в точку $B(x_b,y_b)$, выбираемую произвольно. Перебирая последовательно все точки канвы вдоль вектора $\overline{AB}$, создается одномерный массив, элементы которого соответствуют значениям яркости в исследуемых точках. Далее, если построить график зависимости значений яркости элементов массива от их индекса, то обозначится много максимумов (ярких точек) и минимумов (темных точек). Подсчитав количество минимумов, найдем количество темных полос вдоль выбранного направления. Полученные экспериментальные кривые построены в координатах, по абсциссе которых отложен индекс вектора (φ^0), вдоль которого определено количество минимумов – полос изохром, отложенных по ординате. Графики изменения порядка полос строились обработкой полученных опытных данных – фотокартин, кривые распределения напряжений - в радиальном направлении. Для уточнения значений критерия подобия $L/\vec{G}$ с учетом влияния этих параметров определялись градиенты напряжений на основе $G=d\sigma_{max}/dx$ посредством тангенсов угла наклона касательных в точке σ_{max} к оси абсцисс – $G=K\mathrm{tg}\theta = [d\sigma/dx]_{x=0}$, где К – масштабный коэффициент.



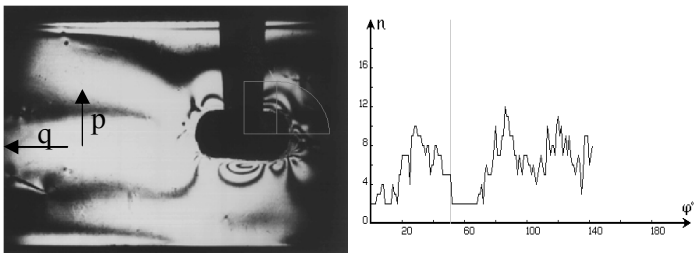
а)


q
p
n
16
12
8
4
0
20
60
100
140
180
φ°

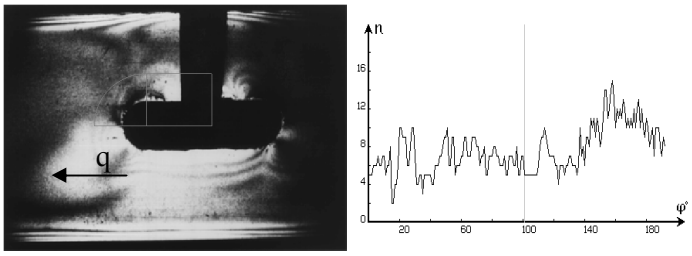
б)


q
n
16
12
8
4
0
20
60
100
140
180
φ°

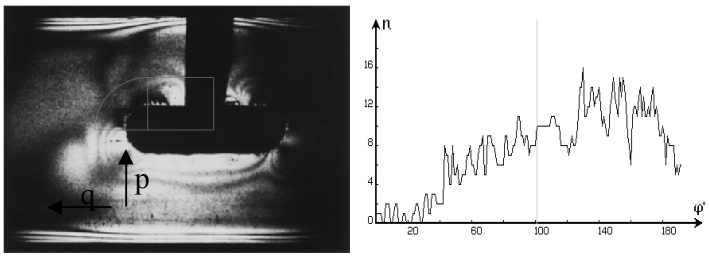
в)


q
p
n
16
12
8
4
0
20
60
100
140
180
φ°

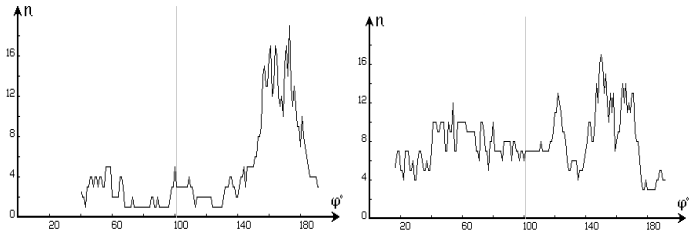
г)


q
n
16
12
8
4
0
20
60
100
140
180
φ°

д)


q
p
n
16
12
8
4
0
20
60
100
140
180
φ°

е)

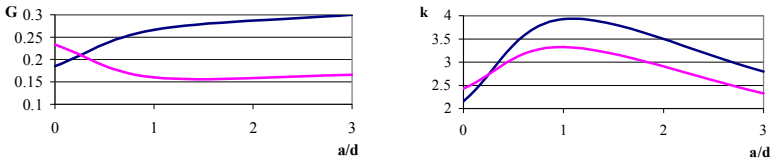


ж)

Рис.2. Кривые распределения напряжений при a/d =0...4 и p/q=0...2

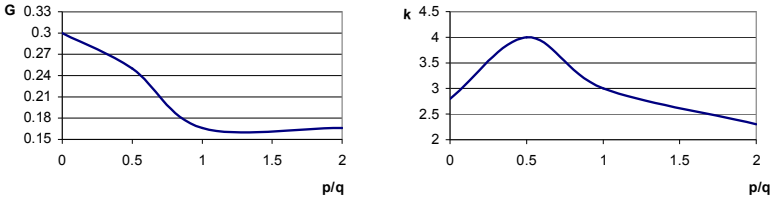
На рис. 2 приведены результаты испытаний трех типов образцов при разных соотношениях a/d=0, 1, 3 (с круговой, короткой и нормальной шпонкой), а также нагружении продольным растяжением p/q= 0 и совместном нагружении продольного растяжения и поперечного давления через шпонку p/q=1, где слева даны фотоизображения распределения изохром при испытании образцов, справа – кривые распределения напряжений (выраженные через порядки полос изохром) по периметру квадранта концевого и прямоугольного участков шпоночного отверстия (рис.2 а,б,в,г,д,е), а для образцов с нормальной длиной шпонки приведены также кривые при значениях p/q=0,5 и 2 (рис.2 ж).

С целью оценки коэффициентов концентрации напряжений и градиентов распределений в точке наибольшего значения при варьировании параметров a/d и p/q полученные экспериментальные кривые аппроксимированы функциональной зависимостью с наибольшим коэффициентом корреляции (рис. 3, 4).



а) б)

Рис. 3



а) б)

Рис. 4

Как видно, значения коэффициентов концентрации напряжений аналогичны приведенным в [1] и [4] и идентичны в заданном диапазоне параметров значениям, полученным теоретически в [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Петерсон Р.** Коэффициенты концентраций напряжений. –М.: Мир, 1977.- 302 с.
2. **Когаев В.П.** Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени.-М.: Машиностроение, 1977.- 430 с.
3. **Дюрелли А., Райли У.** Введение в фотомеханику. –М.: Мир, 1970. - 485 с.
4. **Fessler H., Eissa M.** Elastic stresses due to torque transmit through prismatic part of keyed connections // Proceedings of the 7th International Conf., 23-27 August,1982. – P. 363-370.
5. **Гаспарян С.А., Шекян Л.А.** Оценка усталостной долговечности валов- шпоночных соединений // Тез. докл. Межд. конф. “Оценка и обоснование продления ресурса элементов конструкции”, 6 – 9 июня 2000 г, Киев. - С. 315-316.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 12.02.2001.

Ս.Հ. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ, Հ.Լ. ՍԼԿՈՒՆԻ

ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԲԱՇԽՄԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ ԵՐԻԹԱՎՈՐ ՄԻԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՒՄ ԼՈՒՍԱԱՌԱՁԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ

Անց է կացվել երիթավոր միացության լարումների կուտակման փորձարարական հետազոտություն լուսաառաձգականության մեթոդով բեռնվածքի փոխանցման եղանակի հաշվառմամբ: Նկարագրված է համակարգչային ինտերֆեյսի կիրառմամբ գիտափորձի իրականացման մեթոդիկան: Տրված է լարումների կուտակման գոտում դրանց առավելագույն արժեքների ու գրադիենտների վրա չափային ու բեռնավորման հարաչափերի ազդեցության գնահատումը:

S.H. GASPARYAN, G.L. SLKOUNI

INVESTIGATION OF STRESS DISTRIBUTION IN KEYED JOINTS BY PHOTOELASTISITY METHOD

An experimental investigation of stress distribution at the stress concentration zone of keyed joints has been carried out subject to the way of load transmission. The procedure of realization of the experiment with application of computer interface is described. Evaluation of loading and dimension parameter influence on maximal stresses and gradients at the concentration zone is given.