ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ

Մեխանիկա 54, №4, 2001 Механика

УДК 531.21

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ ЖЕСТКОГО ШТАМПА НА УПРУГУЮ ПОЛОСУ С ДВУМЯ УЧАСТКАМИ КОНТАКТА

Хачикян А.С., Ширинян Р.А.

Ա.Ս. Խաչիկյան, Ռ.Ա. Շիրինյան

**Երկու կոնտակտային մասերով անվերջ առածգական շերտի վրա կոշտ դրոշմի ազդեցության մոդելավորումը**

Դիտարկվում է երկու կոնտակտային մասերով անվերջ առածգական շերտի վրա դրված կոշտ դրոշմի ազդեցության մոդելավորման հնարավորությունը: Քննարկված են տնտեսական լուծումն մնջ օգտագործվող դրոշմի լուծարձակ կոշտության, շերտի անվերջ լինելու, դրոշմի և հենարանների եզրամաս մակերևույթների վրա շոշափող լարումների բացակայության, հենարանների և շերտերի միջև նորմալ տեղափոխության անընդհատության պայմանների փորձի պայմաններում ապահովման եղանակները: Մոդելավորման ճշգրտությունը գնահատված է տնտեսական ճշգրիտ լուծումների հետ էքսպերիմենտալ արդյունքների համապատասխանությամբ:

**A.S. Khachikyan, R.A. Shirinyan**

**On the Modeling of the Rigid Punch Action on the Elastic Strip with two Contact Area**

В исследованиях по теории упругости важное место занимают контактные задачи [1-3]. Очень многие, важные с практической точки зрения задачи связаны с контактом разных тел, часто разнородных. В исследованиях методом фотоупругости также рассмотрены многие задачи об определении напряженного состояния деталей, находящихся в контакте с другой деталью (зацепление зубьев, посадка вал-отверстие, армированный материал, подкрепленное отверстие или диск и др.). При этом контакт двух деталей бывает полным или неполным. Когда контакт полный, т.е. исключено взаимное смещение точек контактной поверхности двух деталей, моделирование методом фотоупругости осуществляется простым склеиванием модельных образцов исследуемых деталей. Когда же контакт неполный, т.е. допускается взаимное смещение точек контактной поверхности, задача моделирования методом фотоупругости усложняется и, по-видимому, может быть решена только применительно к каждой конкретной контактной задаче. В статье рассматривается одна такая конкретная задача.

В работе [4] В.С. Тонояном решена контактная задача теории упругости для бесконечной полосы с двумя участками контакта (фиг.1) при следующих граничных условиях:

$$\begin{aligned} &v(x,0) = f(x) \quad (-a \le x \le a) \\ &\sigma_y(x,h) = 0 \quad (-a \le x \le a) \\ &\sigma_y(x,0) = 0 \quad (a \le |x| \le \infty) \\ &v(x,h) = 0 \quad (a \le |x| \le \infty) \\ &\tau_{xy}(x,0) = \tau_{xy}(x,h) = 0 \quad (-\infty \le x \le \infty) \end{aligned} \tag{1}$$

Применением метода парных интегральных уравнений в упомянутой работе решение задачи сведено к решению интегрального уравнения Фредгольма второго рода, в случае плоского штампа $f(x) = \delta = \text{const}$ определены численные значения нормальных напряжений под штампом и в частично заделанном участке нижней грани полосы.

Попробуем смоделировать эту задачу методом фотоупругости. Благодаря существованию точного решения мы можем оценить, насколько наша модель адекватна поставленной задаче [5].

Фиг.1. Схема нагружения

В процессе моделирования задачи, согласно граничным условиям (1), возникают некоторые затруднения, которые необходимо преодолеть.

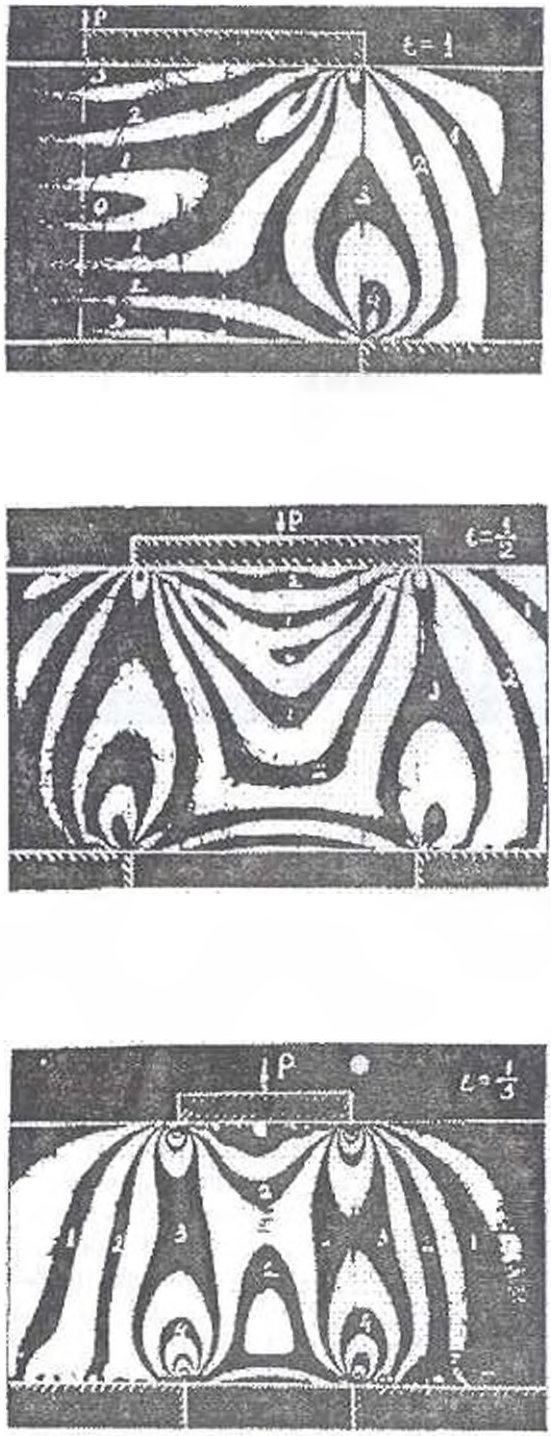
В условиях задачи принято, что контактирующие с полосой участки (штамп и упоры) абсолютно жесткие. Это условие сравнительно легко обеспечить благодаря низкому модулю упругости ($E_{эп} = 3.1$ГПа) образца из эпоксидной смолы и выбором материалов штампа и упоров из материала, более чем в 10 раз превосходящей по модулю материал образца. Проведенные нами эксперименты подтверждают это.

Далее, в условиях задачи полоса считается бесконечно длинной. Ясно, что в эксперименте это невозможно обеспечить. В эксперименте моделирование этого условия оценивалось уровнем напряженного состояния концов полос. Условие считается достигнутым при длине полос, когда на концах полос отчетливо видно отсутствие изохром выше нулевого порядка.

Следующим, трудным для моделирования, граничным условием является отсутствие касательных напряжений в контакте образца и упоров.

Эксперименты показали, что величина контактных напряжений чувствительна к гладкости контактной поверхности и наличия смазки на этой поверхности. Она чувствительна также к плоскостности контактной поверхности и отношению длины штампа к высоте образца. Критерием адекватности модели здесь принята малость контактных касательных напряжений.

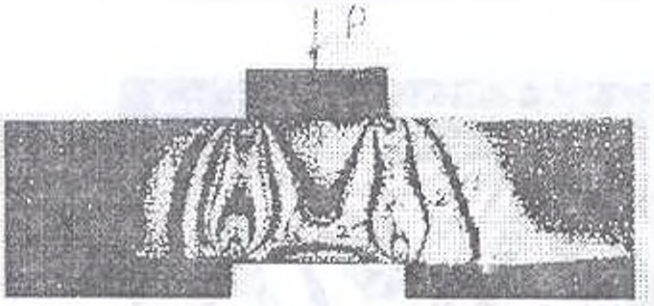
Наконец, в условиях задачи (1) заложено отсутствие вертикальных перемещений на всей бесконечной контактной поверхности образца с упорами. Это условие трудно обеспечить, учитывая возможность возникновения контактных растягивающих напряжений и неизвестности заранее координат точки смены знака нормальных напряжений. В этой работе за критерий адекватности модели (в смысле обеспечения обсуждаемого граничного условия) принята малая величина контактных нормальных напряжений. Модель считалась адекватной, если нормальные контактные напряжения по всей длине упора не меняли свой знак и на удаленных концах контактной поверхности имеют величину нулевого порядка. Это означает, что если даже происходит отрыв образца от упора, то это происходит в зоне образца, где напряжения равны нулю в пределах точности эксперимента.




Фиг.2. Картины полос при $\varepsilon = \frac{a}{h} = \frac{1}{3}; \frac{1}{2}; 1$

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены полосы из эпоксидной смолы марки ЭД6-МТГФА двух размеров: 10x30x200мм$^3$ и 10x50x200мм$^3$. Штампы и упоры были изготовлены из латуни и дюралюминия. Разные отношения ширины штампа и полосы получены изготовлением штампов необходимой ширины и сдвигом упоров. Схема нагружения показана на фиг.1. Эксперименты проведены на поляризационно-проекционной установке ППУ-7. Некоторые картины изохром показаны на фиг.2.

В экспериментах использованы штампы и упор с разными коэффициентами трения (латунь, дюралюминий) со смазкой поверхности контакта и без смазки. Поверхности контакта обработаны с разной чистотой: фрезерованные и шлифованные. Для сравнения приведена также картина изохром (фиг.3) при полном сцеплении штампа (дюралюминиевый штамп склеен с полосой).




Фиг 3. Картина полос при полном сцеплении штампа

Качественная картина распределения напряжений совпадает с результатами вычислений по точному решению В.С. Тонояна.

Как показывают картины изохром, напряженное состояние полосы складывается из двух превалирующих типов полей напряжений: сжатия полосы сосредоточенными силами преимущественно вдоль линий, соединяющих соответственные угловые точки штампа и упоров, и изгиб полосы в центральной части. Первый тип напряженного состояния более отчетливо выделяется при относительно узком штампе (фиг.2в), а второй тип – при относительно длинном штампе (фиг.2а).

Картина изохром показывает, что уже на расстоянии от центра полосы равном двум ширинам штампа напряжения имеют нулевой порядок, когда высота полосы не больше ширины штампа. При обеспечении последнего условия моделирование граничных условий, связанных с бесконечностью полосы в точном решении, обеспечивается в пределах точности эксперимента. В этих условиях не заметны также признаки отрыва полосы от упора и штампа, и четвертое условие (1) тоже обеспечивается в пределах точности эксперимента.

Более чувствительны картины изохром к плоскостности и чистоте контактных поверхностей. Наличие микронеровностей приводит к местным флуктуациям картины изохром (фиг.2в). Наличие сцепления на контактной поверхности под штампом (фиг.3, склеенный образец) приводит к сильному изменению напряженного состояния полосы.

Проведенные эксперименты показали, что при надлежащем выборе размеров образца, схемы нагружения и обработки контактных

поверхностей адекватное моделирование условий поставленной контактной задачи возможно.

ЛИТЕРАТУРА


1. Абрамян Б.А. Обзор результатов, полученных по контактным задачам в АН Арм ССР//В сб. "Контактные задачи и их применения." Докл на конф. НИИМАШ. М.: Наука, 1969. С. 3-6.
2. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. М.: Гостехиздат, 1980. 304с.
3. Александров В.М., Мхитарян С.М. Контактные задачи для тел с тонкими покрытиями и прослойками. М.: Наука, 1983. 488с.
4. Тоноян В.С. Контактная задача для бесконечной полосы с двумя участками контакта. // Изв. АН Арм. ССР. Механика. 1968. Т. XXI, №5-6. С. 21-31.
5. Варданян Г.С. Основы теории подобия и анализа размерностей. М.: МИСИ, 1977. 121с.



Институт механики
НАН Армении



Поступила в редакцию
08.11.2001