

большая вероятность появления различного вида неоднородностей и слабых мест, а также влияние на процесс разрушения оказывает суммарная упругая энергия, накопленная в нагружаемой системе.

УДК 621.891

Д.И. Дмитриевич, Т.В. Калиновская, канд. техн. наук,
Р.В. Козлова

КОНТАКТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ СДВИГЕ ПО ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПРОСТРАНСТВА

При изучении явлений, происходящих при трении, а также в процессах деформирования комбинированными нагрузками (нормальной и касательной), полезным является привлечение задачи о нагружении упругого полупространства равномерно распределенной касательной нагрузкой, моделирующей сдвиг при полной адгезии по пятну касания.

Напряжения, вызываемые действием касательной равномерно распределенной нагрузки, можно определить по формулам [1] согласно схеме (рис. 1, а):

$$\sigma_x = \frac{k}{2\pi} (\cos 2\theta_1 - \cos 2\theta_2); \quad (1)$$

$$\sigma_y = \frac{k}{2\pi} \left[4 \ln \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} - (\cos 2\theta_1 - \cos 2\theta_2) \right]; \quad (2)$$

$$\tau_{xy} = \frac{k}{2\pi} [(\sin 2\theta_1 - \sin 2\theta_2) - 2(\theta_1 - \theta_2)]; \quad (3)$$

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}; \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} 2\beta_{1,2} = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}. \quad (5)$$

$$\theta_1 = \operatorname{arctg} \frac{y-a}{x}; \quad (6)$$

$$\theta_2 = \operatorname{arctg} \frac{y+a}{x}, \quad (7)$$

а толщина деформируемой пластины принимается равной 1. Расчет напряжений на контакте ($\theta_1 = -90^\circ$, $\theta_2 = 90^\circ$) по формулам (1) - (5) дает значения $\sigma_x = \sigma_y = 0$, $\tau_{xy} = \tau_{\max} = k_0$, $\beta_1 = 45^\circ$, $\beta_2 = 135^\circ$. Здесь k_0 - интенсивность приложенной касательной нагрузки; $\beta_{1,2}$ - углы наклона траекторий σ_1 и σ_2 (параметр изоклины). При таком расчете вся контактная поверхность является траекторией максимальных сдвигающих напряжений. Особенности имеют место в особых точках А и В, где $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = 90^\circ$ (точка А) и $\theta_1 = -90^\circ$, $\theta_2 = 0$ (точка В), если упомянутые точки считать принадлежащими к проходящим через них вертикальным сечениям. Тогда $\sigma_{xA} = \frac{k_0}{\pi}$; $\sigma_{yA} = \infty$; $\tau_{xyA} = \frac{k_0}{2}$; $\tau_{\max A} = \infty$;

$$\beta_{1A} = 0^\circ; \sigma_{xB} = -\frac{k_0}{\pi}; \sigma_{yB} = -\infty; \tau_{xyB} = \frac{k_0}{2}; \tau_{\max B} = \infty;$$

$$\beta_{1B} = 90^\circ.$$

Отрицательными считаются сжимающие напряжения. Эксперимент не подтверждает описанные выше распределения τ_{\max} , σ_y и $\beta_{1,2}$. Поэтому для уточнения напряженного состояния на контакте были построены эпюры τ_{\max} и σ_y в вертикальных сечениях поля напряжений и произведена их экстраполяция на контактную поверхность (последняя расчетная точка в каждом сечении отстоит от контактной поверхности на 0,025 а).

На рис. 1, б показаны эпюры τ_{\max} на контакте; рассчитанная по формулам (1) - (4) (прямая 1), полученная мето-

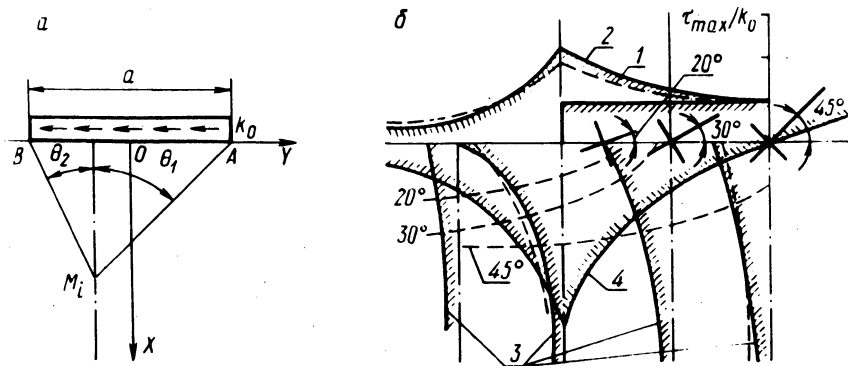


Рис. 1. Схема приложения касательной нагрузки в системе координат ХОУ (а) и напряженное состояние на контакте и в его окрестностях при сдвиге по пятну касания (б).

дом экстраполяции (кривая 2) эпюр τ_{\max} в вертикальных сечениях (кривые 3). Таким же путем найдены углы выхода на контактную поверхность изостат (показаны крестиками) и эпюра σ_y (кривая 4).

Для оценки величин τ_{\max} и σ_y в особых точках был произведен их расчет в точках, отстоящих от особой на весьма малое расстояние (табл. 1).

Таким образом, в окрестности особых точек τ_{\max} и σ_y стремятся не к бесконечности, предел их \max отношения $\left| \frac{\sigma_{yA(B)}}{\tau_{\max A(B)}} \right| \approx 2,1$.

На рис. 1, б штриховыми линиями очерчены эпюры τ_{\max} в объеме и на контактной поверхности, а также отрезки изоклин, полученные экспериментально (упругий материал СКУ-10, инструмент приклеен к образцу). Сравнение с расчетными эпюрами показывает, что, пользуясь уравнениями (1) - (5), можно достаточно точно оценить распределение напряжений на контактной поверхности только методом экстраполяции эпюр, построенных в вертикальных сечениях поля напряжений. Несмотря на полную адгезию между инструментом и образцом, контактная поверхность не является траекторией максимальных сдвигающих напряжений (рис. 1, б, выход изостат на поверхность), а распределение τ_{\max} не совпадает с равномерной эпюрой $\tau_{xy} = k_0$, приложенной по касательной к образцу при формулировке задачи. Разница увеличивается в направлении особых точек.

При сложении напряженных состояний от нормальной (N) и поперечной касательной (T) нагрузок на поверхности остаются

Таблица 1.

x	y	$\tau_{\max A(B)}$	$\sigma_{yA(B)}$	$\frac{\sigma_{yA(B)}}{\tau_{\max A(B)}}$
0,0025a	$\pm a$	$7,48 k_0 / 2\pi$	$\pm 15,62 k_0 / 2\pi$	2,1
"	$\pm 1,0025a$	$7,29 k_0 / 2\pi$	$\pm 15,25 k_0 / 2\pi$	2,1
"	$\pm 0,9988a$	$7,7 k_0 / 2\pi$	$\pm 15,593 k_0 / 2\pi$	2,03
0,0035a	$\pm a$	$11,2 k_0 / 2\pi$	$\pm 23,5 k_0 / 2\pi$	2,1
0,035a	$\pm 1,005a$	$6,7 k_0 / 2\pi$	$\pm 13,88 k_0 / 2\pi$	2,075

неизменными эпюры σ_{xN} , $\tau_{хУТ}$ и τ_{maxT} , воздействие касательной нагрузки оказывает влияние лишь на эпюру σ_y , которая становится несимметричной и в зависимости от соотношения между σ_{nN} и k_{OT} может превратиться в сжимаемую или сохранить зону растяжения.

Л и т е р а т у р а

1. Фрохт М. Фотоупругость, т. 1. М.-Л., 1948.

УДК 621.762.043

О.В. Роман, докт. техн. наук,
Е.И. Вербицкий, канд. техн. наук,
О.В. Заяш

ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ФОРМОВАНИЕ ПОЛОСТЕЙ В СПЕЧЕННЫХ ЗАГОТОВКАХ

Процесс высокоскоростного формования осуществлялся на установке рис. 1, включающей в себя: а) собственно пороховой копер вертикального типа с совершаемой работой 1000 кгм и максимальной скоростью бойка 100 м/с. Регулировка скорости бойка производится изменением его массы и величины заряда. В качестве энергоносителя используется порох "Сокол"; б) штамп для плоского деформирования, так как плоская задача наиболее удобна для расчета напряженно-деформированного состояния; в) устройство, обеспечивающее регистрацию перемещения пуансона во времени в процессе пластической деформации и при полете; г) устройство, обеспечивающее регистрацию изменения усилия деформирования во времени.

Пороховой копер представляет собой конструкцию, состоящую из основания 1 и верхней плиты 2, стянутых колоннами 3. Несколько комплектов колонн обеспечивают изменение закрытой высоты копра в зависимости от поставленной технологической задачи. В верхнюю плиту вмонтирован ствол 4 с гнездом под гильзу. В гильзу 5 вставляется патрон с порохом. На ствол наворачивается затвор 6 и вворачивается ударник пружинного действия 7. В стволе движется шток, 8 к которому винтом 9 крепится срезаемая медная шайба 10, обеспечивающая в первый момент времени подпор продуктам сгорания пороха, в дальнейшем служащая уплотнением, препятствующим попаданию газов в рабочую зону. Эту же роль играет имеющееся в стволе отверстие 11. К штоку крепится пуансон 12, который переме-