

Диалоговый режим проектирования раскроя на базе библиотеки данных является неременным условием для САПР гибких производственных систем заготовительных цехов и участков. Возможность оперативного изменения технологических процессов раскроя при замене ранее заданного сортамента материала, изменении программы выпуска деталей, номенклатуры или размеров деталей повышают эффективность ГПС.

Общий экономический эффект от внедрения подсистем САПР РАСКРОЙ составил 500 тыс. руб. в год, экономия металла — 1,5 тыс. т. в год. В результате внедрения автоматизированного проектирования раскроя на Таганрогском и Тульском комбайновых заводах на 1–2 % снизились нормы расхода материала даже на традиционные хорошо освоенные изделия серийного производства.

УДК 621.7.001:539.219.001.1

Т.В.КАЛИНОВСКАЯ, канд.техн.наук
(ФТИ АН БССР)

ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ ВДАВЛИВАНИИ

В работе рассматривается процесс вдавливания плоского штампа в пластическое полупространство; нормальная нагрузка на контакте распределена равномерно (эпюра 1 на рис. 1), а деформируемый материал способен деформироваться в диапазоне сдвигающих напряжений $\tau_0 \dots k$, где τ_0 — предел жесткости (упругости), k — константа сдвига.

Теория упругости дает распределение сдвигающих напряжений при вдавливании в виде синусоид (эпюра 2 на рис. 1) вдоль гиперболических траекторий главных нормальных напряжений, имеющих максимум на полуокружности $AO'B$ радиуса b , где b — полуширина контактной площадки. Каждая из окружностей семейства, построенного на контактной площадке как на хорде, является геометрическим местом одинаковых сдвигающих напряжений τ_i , уменьшающихся по мере удаления от главной окружности (ГО) в сторону контактной поверхности и в глубину очага деформации:

$$\tau_i = k \sin(2\alpha_i) \quad (1)$$

(если на главной окружности τ_{\max} достигло значения k).

Решение пластической задачи вдавливания ограничивается определением параметров поля линий скольжения $AO'BCD$ при $k = \text{const}$. Из рассмотрения выпадают переходные области, в которых максимальное сдвигающее напряжение не достигло k , но превышает τ_0 . Они ограничиваются дугами окружностей AO_1B и AO_2B , на которых $\tau_i = \tau_0$. При этом, согласно выражению (1), коэффициент жесткости $\eta = \tau_0/k = \sin(2\alpha_{01}) = \sin(2\alpha_{02})$.

Гиперболическую траекторию аппроксимируем ломаной, участок которой ниже ГО ($O''G$) направлен под углом 2φ к оси штампа, а продолжение проходит через центр штампа O ; участок выше ГО заменим прямой ($O''F$), наклоненной под углом φ к оси штампа и проходящей через точку ее пересечения с продолжением главной окружности O'_1 . Положение точек на окружностях

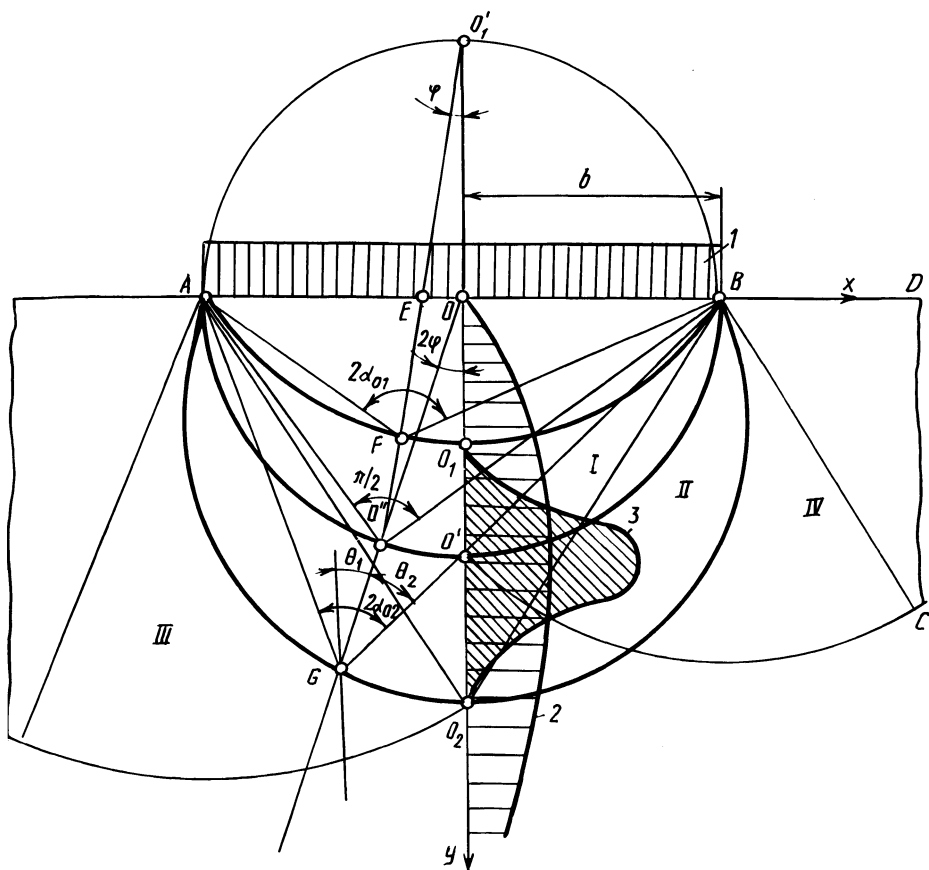


Рис. 1. Очаг деформации, характерные эпюры напряжений и деформаций при вдавливании в материал, обладающий пределом жесткости τ_0

$\tau_i = \text{const}$ определится углом φ и радиусами-векторами r_i . Значения граничных радиусов-векторов r_{O_1} и r_{O_2} в зависимости от φ и η можно получить из выражений:

$$\eta = \frac{2b(r_{O_1} \cos \varphi - b)}{\sqrt{[r_{O_1}^2 + 2b^2 - 2br_{O_1}(\sin \varphi + \cos \varphi)][r_{O_1}^2 + 2b^2 - 2br_{O_1}(\cos \varphi - \sin \varphi]}} \quad (\text{область I});$$

$$\eta = \frac{2br_{O_2} \cos 2\varphi}{\sqrt{(r_{O_2}^2 + b^2)^2 - 4b^2 r_{O_2}^2 \sin^2 2\varphi}} \quad (\text{область II}).$$

При анализе распределения пластических деформаций в областях I и II следует обратиться к кривой упрочнения деформируемого материала. Если участок этой кривой от τ_0 до k аппроксимировать синусоидой, то эпюра приращения собственных деформаций в пластической области ($\tau_0 \dots k$), синусоида 3

(рис. 1), вдоль траекторий главных нормальных напряжений в соответствии с распределением τ_{\max} :

$$\epsilon_j = \epsilon_{\max} \sin^2 \beta ,$$

где $0 \leq \beta \leq \pi$; ϵ_{\max} (амплитуда) может быть определено из приближенного равенства:

$$\Delta = \sum_{i=1}^N \epsilon_i \Delta y_i = \epsilon_{\max} \sum_{i=1}^N \Delta y_i \sin^2 \beta ,$$

где Δ — проникновение штампа; Δy_i — отрезки на оси y , соответствующие равным приращениям аргумента ($\Delta \beta = \pi/N$, где N — число разбиений) и изменяющиеся по закону арифметической прогрессии, знаменатель которой определяется для каждого сечения $\varphi = \text{const}$ из соотношения расстояний от главной окружности до верхней и нижней границ очага деформации в соответствии с заданным η .

Задавшись Δ , можно для различных φ и η построить эпюры собственных деформаций в пластической области. Если максимальную деформацию на оси штампа обозначить $\epsilon_{\max 0}$ и определить вдоль главной окружности $\epsilon_{\max} / \epsilon_{\max 0}$ для различных η , то оказывается, что распределения не зависят от η и хорошо аппроксимируются выражением

$$\frac{\epsilon_{\max}}{\epsilon_{\max 0}} = \frac{1,54 + 3(x/b)}{\sqrt{1 - (x/b)^2}} - 0,54 + 3 \frac{x}{b} ,$$

где x отсчитывается от центра штампа; $x/b = \varphi / (\pi/4)$.

На краю штампа ($\epsilon_{\max} / \epsilon_{\max 0} \rightarrow \infty$). Собственные деформации элементов в областях I и II вызывают переносную деформацию, в общем случае ($\tau_0 \neq k$) развивающуюся в областях III. Переносная деформация снимает пики распределения деформаций по главной полуокружности, оставаясь в среднем на низком уровне. Подпор, создаваемый в областях III, в силу малости средней деформации в них в первом приближении может определяться начальным сопротивлением материала τ_0 . Тогда для рассматриваемой модели тела контактные нормальные напряжения определяются зависимостью $\sigma_n = 2\tau_0 + \pi k$, которая при приближении модели тела к идеально пластической преобразуется в известное выражение $\sigma_n = (2 + \pi)k$ (области переносного деформирования III трансформируются в области IV, известные как поле Прандтля), а для модели тела с нулевым начальным сопротивлением деформированию $\tau_0 = 0$ — в зависимость $\sigma_n = \pi k$.