

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССАХ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ТВЕРДОСТИ

Г. Д. ДЕЛЬ, В. И. ЛИВШИЦ

(Представлена научным семинаром лаборатории пластических деформаций
кафедры сопротивления материалов ТПИ)

В работе [1] изложена методика определения напряженного состояния в пластической области по распределению твердости. Путем испытания материала на растяжение, сжатие или кручение и параллельного измерения твердости испытываемых образцов строится тарировочный график «твердость H —интенсивность касательных напряжений K ». Экспериментально подтверждено, что указанный график с достаточной точностью можно считать единым для различных напряженных состояний и путей нагружения. По распределению твердости в деформируемом теле с помощью тарировочного графика определяется функция $K(x, y, z, q)$, где q характеризует стадию деформации тела в целом. Интегрированием дифференциальных уравнений равновесия для данной стадии деформации ($q = \text{const}$) отыскивается поле напряжений в статически определимых задачах.

В настоящей статье указанная методика распространяется на случай быстропротекающих процессов пластического деформирования. Как показано экспериментально, в области больших пластических деформаций функция $K(H)$ малочувствительна к скорости деформирования. Это позволяет при изучении таких процессов использовать тарировочный график, построенный по результатам статических испытаний. В отличие от статических процессов, определение напряженного состояния в рассматриваемом случае усложняется необходимостью учета инерционных массовых сил.

Методика разработана применительно к плоской деформации. Уравнения движения

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = X; \quad \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = Y, \quad (1)$$

подстановкой

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma - K \cdot \sin 2\theta \\ \sigma_y &= \sigma + K \cdot \sin 2\theta \\ \tau_{xy} &= K \cdot \cos 2\theta, \end{aligned} \quad (2)$$

где σ — гидростатическое давление, θ — угол наклона касательной к линии скольжения преобразуются в систему гиперболического типа

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} - 2K \cos 2\theta \frac{\partial \theta}{\partial x} - 2K \sin 2\theta \frac{\partial \theta}{\partial y} = \sin 2\theta \frac{\partial K}{\partial x} - \cos 2\theta \frac{\partial K}{\partial y} + X. \quad (3)$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial y} - 2K \sin 2\Theta \frac{\partial \Theta}{\partial x} + 2K \cos 2\Theta \frac{\partial \Theta}{\partial y} = -\cos 2\Theta \frac{\partial K}{\partial x} - \sin 2\Theta \frac{\partial K}{\partial y} + Y.$$

Характеристики этой системы совпадают с линиями скольжения; соотношения на этих линиях

$$\frac{\sigma}{2K} - \Theta = -A_\alpha; \quad \frac{\sigma}{2K} + \Theta = -A_\beta. \quad (4)$$

Здесь положено:

$$A_\alpha = \frac{1}{2K} \int_\alpha \left(\frac{\partial K}{\partial \beta} - X \cos \Theta - Y \sin \Theta \right) d\alpha + \psi_1(\beta) \quad (5)$$

$$A_\beta = \frac{1}{2K} \int_\beta \left(\frac{\partial K}{\partial \alpha} + X \sin \Theta - Y \cos \Theta \right) d\beta + \psi_2(\alpha),$$

где α и β отсчитываются вдоль линий скольжения семейств α и β , направления которых фиксированы таким образом, чтобы они образовали правую систему координат, где касательное напряжение имело

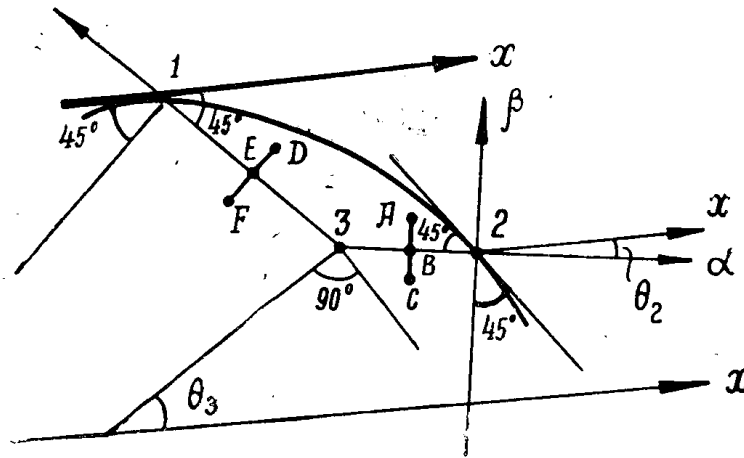


Рис. 1

бы положительное направление. Величины ψ_1 и ψ_2 определяются по граничным условиям.

Краевые задачи, возникающие при расшифровке, решаются приемами, описанными в работе [1]. Интегралы A_α и A_β определяются по приближенным соотношениям (рис. 1):

$$(A_\alpha)_3 = (A_\alpha)_2 - \frac{l_{2-3}}{2K_3} \left[\frac{K_A - K_C}{AC} - X_B \cos \Theta_2 - Y_B \sin \Theta_2 \right], \quad (6)$$

$$(A_\beta)_3 = (A_\beta)_1 - \frac{l_{1-3}}{2K_3} \left[\frac{K_D - K_F}{DF} + X_E \sin \Theta_1 - Y_E \cos \Theta_1 \right].$$

Здесь индексы соответствуют обозначениям точек на рисунке.

По разработанной методике исследовано напряженное состояние в зоне стружкообразования при свободном резании стали 45Г17Ю3Х инструментом из твердого сплава на режимах: скорость резания 17,5 м/мин; подача 0,9 ÷ 1,1 мм; глубина 3,5 мм. При этих условиях формировалась стружка скалывания.

На боковую поверхность образца путем прострагивания системы взаимно перпендикулярных канавок треугольного сечения наносилась делительная сетка с базой 0,25 мм. Ширина канавок не превышала 0,1 от базы сетки.

С помощью специального устройства осуществлялся мгновенный останов процесса резания с отводом режущего инструмента. Фиксированная при этом зона стружкообразования («корень» стружки) вырезалась из образца. «Корни» стружек располагались последовательно по

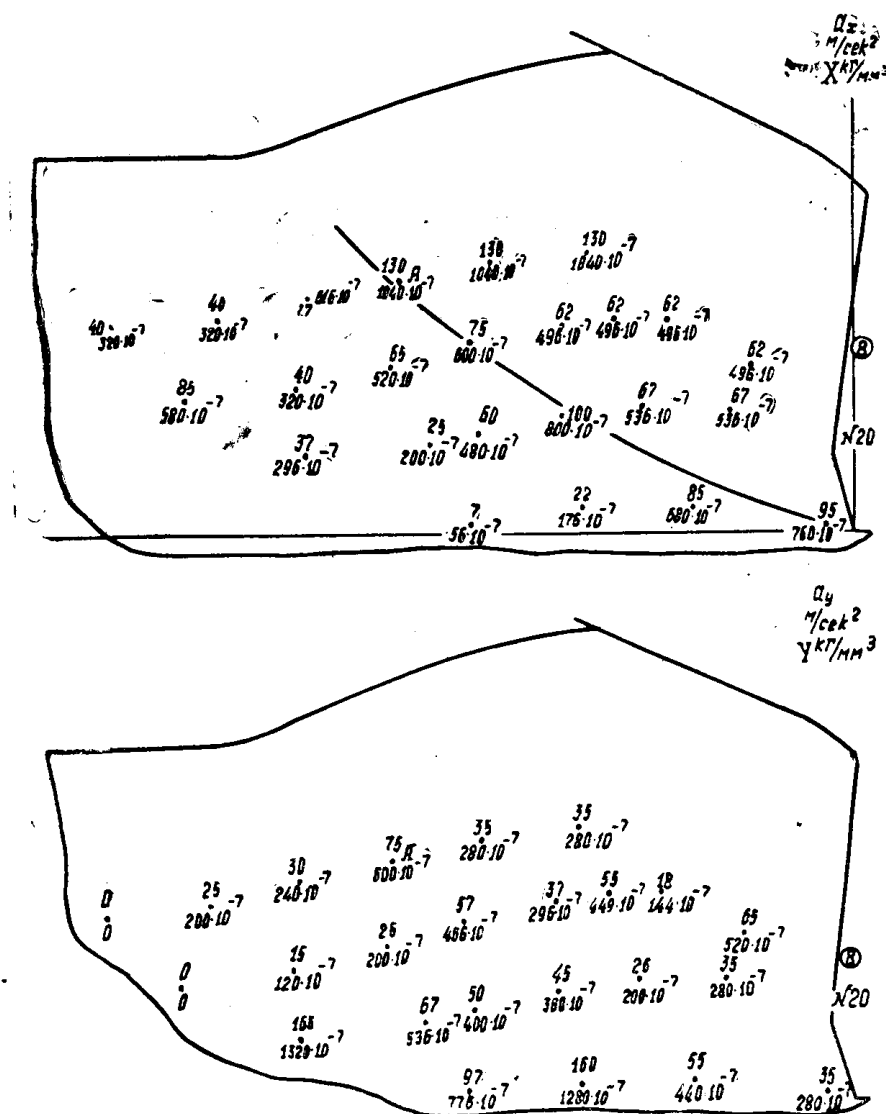


Рис. 2. Ускорения частиц в зоне стружкообразования

стадиям образования элемента стружки — от скола предыдущего элемента до полного оформления последующего.

Зная базу сетки, можно определить координаты различных узлов сетки до начала образования элемента. Один из лежащих за пределами пластической области узлов с одинаковыми для всех стадий образования элемента исходными координатами был принят за начало координат. По изменению координаты X вершины резца и скорости резания устанавливалось время, соответствующее каждой стадии образования элемента стружки.

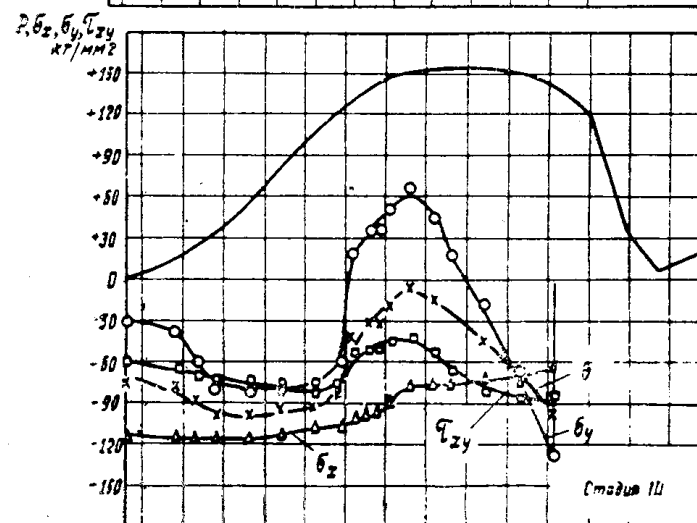
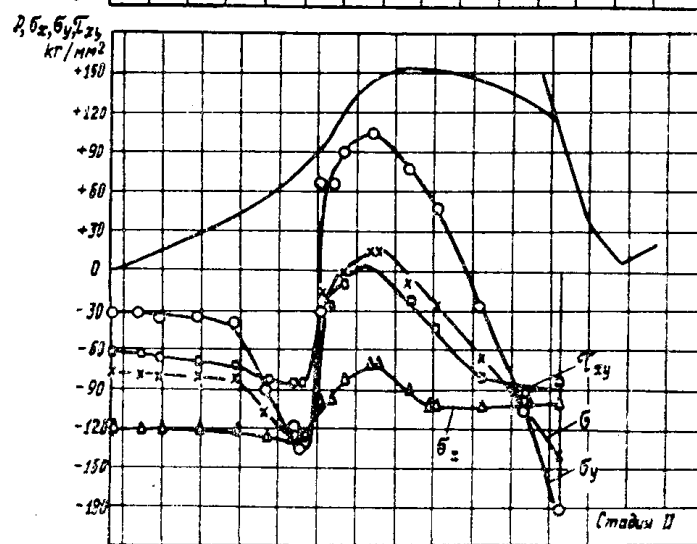
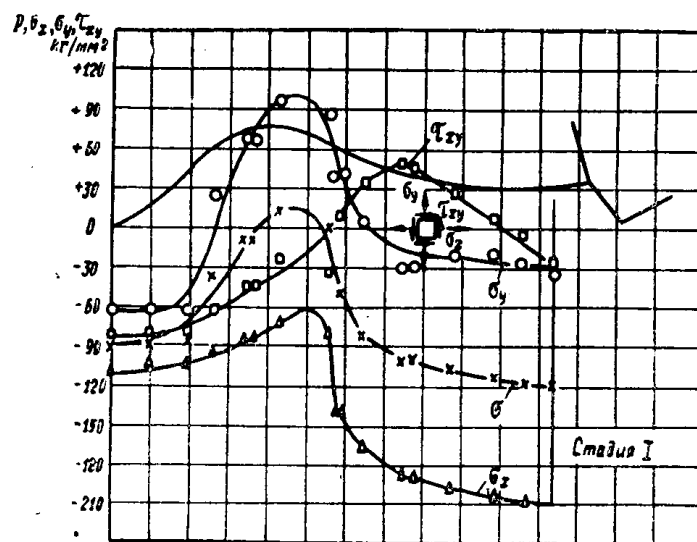


Рис. 3. Напряжения в зоне резания

Затем измерялись расстояния различных узлов от начала координат на различных стадиях образования элемента и строились графики $x(t)$, $y(t)$ для узлов с одинаковыми начальными координатами. Двойным графическим дифференцированием этих графиков устанавливалось распределение ускорений $a_x(x, y)$ и $a_y(x, y)$. На рис. 2 показано поле ускорений на одной из последних стадий образования элемента стружки. Величина инерционных слагаемых в уравнениях движения (1) находилась умножением a_x и a_y на плотность материала.

Изложенная методика определения инерционных массовых сил, строго говоря, применима только для установившихся процессов пластического деформирования (например, при сливном стружкообразовании). В рассматриваемом же случае некоторое влияние на распределение ускорений могут оказать инерционные нагрузки, возникающие вследствие колебаний обрабатываемого материала, которые в расчете не учитывались.

После фотографирования деформированной сетки «корень» стружки сошлифовывался до середины толщины, и на подготовленном шлифе измерялась микротвердость на приборе ПМТ-3. Деформацию в этом сечении можно считать плоской; предполагалось также, что поле ускорений в нем такое же, как на боковой поверхности стружки.

Описанным выше методом были вычислены компоненты напряжений с учетом инерционных массовых сил (рис. 3). Затем напряжения определялись по методике, применяемой для статических процессов. Сравнение результатов показало, что их расхождение не превышает долей процента. Отсюда следует, что при изучении напряжений в процессе образования стружки скалывания на скоростях промышленного уровня инерционными массовыми силами можно пренебречь. Вопрос же о влиянии этих сил при других режимах резания, в особенности при скоростях до $10.000 \div 20.000$ м/мин, нуждается в дальнейшей экспериментальной проверке, которая может быть выполнена по изложенной методике.

С целью проверки полученных результатов средние касательные напряжения вдоль линии сдвига были сопоставлены с данными, полученными на основе динамометрирования сил резания. Расхождение не превышало 3%, что свидетельствует о высокой точности методики определения напряжений по твердости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Д. Дель. Исследование пластической деформации измерением твердости. Изв. ТПИ, т. 138, 1965.

76-10176