

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ РЕЗАНИИ ПЛАСТИЧНОГО
МЕТАЛЛА НА ВЫСОКОЙ СКОРОСТИ

В. А. ГОВОРУХИН, Г. Л. КУФАРЕВ

(Представлена научным семинаром кафедры «Станки и резание металлов»)

Г. Д. Делем и М. Г. Гольдшмидтом [1, 2, 3] предложен метод определения всех компонентов тензора напряжений по искажению прямоугольной делительной сетки и распределению твердости в зоне стружкообразования. Этот метод был использован ими при расшифровке напряженного состояния при резании на микроскорости.

Напряженное состояние в данной точке сплошной среды характеризуется тензором напряжения, состоящим при плоском напряженном состоянии из компонентов:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma - K \cdot \sin 2\theta, & \sigma_y &= \sigma + K \cdot \sin 2\theta \\ \tau_{xy} &= K \cdot \cos 2\theta\end{aligned}\quad (1)$$

$$K = \frac{\sigma_i}{\sqrt{3}} \text{ — интенсивность касательных напряжений,}$$

 σ_i — интенсивность напряжений, θ — угол между касательной к линии скольжения и выбранным направлением, оси x ,

$$\sigma = -K(A_\alpha + A_\beta) \text{ — гидростатическое давление (2),}$$

 A_α, A_β — обобщенные параметры.

При сложном нагружении наилучшие подтверждения получили соотношения теории течения [4], из которой следует, что

$$\operatorname{tg} 2\theta = \frac{e_x - e_y}{\gamma_{xy}}, \quad (3)$$

где e_x, e_y, γ_{xy} — компоненты тензора скорости деформации.

Напряженное состояние определено вблизи условной плоскости сдвига при свободном резании на скорости $V = 98,0$ м/мин. стали ШХ15. Резание наборного образца, состоящего из двух полированных дисков, шириной 3 мм каждый, осуществлялось на токарном станке с поперечной подачей $S = 0,31$ мм/об. резцом с пластинкой твердого сплава Т5К10, имеющей передний угол $\gamma = 17^\circ$. На боковой поверхности образца наносилась координатная делительная сетка в полярной системе координат с базой по углу 5 минут, по радиусу — 0,05 мм. Сетка наносилась с помощью несложного приспособления алмазом на токарном станке (архимедова спираль) и универсальном микроскопе УИМ-21 (радиальные лучи). Фиксирование процесса резания осуществлялось с помощью специально изготовленного приспособления взрывного действия с электро-

контактным устройством, позволяющего остановить процесс резания в любой намеченной ранее точке окружности диска, что позволяло наносить делительную сетку на небольшом участке поверхности диска.

Зафиксированные корни стружки фотографировались на приборе ПМТ-3, затем изготавливались фотографии корней с искаженной делительной сеткой при общем увеличении 250—270 раз. Измерение размеров сетки осуществлялось на зарисованной с обратной стороны фотографии картине искажения сетки. На приборе ПМТ-3 после соответствующей подготовки поверхности измерялось распределение микротвердости (рис. 1 а) в корне стружки. По распределению микротвердости с помощью тарировочного графика «интенсивность напряжений — микротвердость H_{200} » определялось распределение интенсивности касательных напряжений K . Тарировочный график построен по результатам испытания на осевое сжатие со смазкой и последующего измерения микротвердости в меридиональном сечении осаженных до различных степеней деформаций цилиндрических образцов. При этом интенсивность напряжений рассчитывалась по

$$\sigma_i = \frac{4P \cdot h}{\pi \cdot d_0^2 \cdot h_0},$$

где P — сжимающее усилие в кг;

h_0, h — высота образца до и после деформации;

d_0 — начальный диаметр образца, а интенсивность деформаций по зависимости $e_i = \ln \frac{h_0}{h}$.

На рис. 1 б и 1 в представлены экспериментальные данные для расчета компонентов тензора скорости деформации, которые определяются из соотношений

$$\begin{aligned} \dot{e}_x &= \frac{V_0}{a_0} \left(\frac{\partial a}{\partial x} \cdot \cos \alpha - a \cdot \sin \alpha \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial x} \right), \\ \dot{e}_y &= \frac{V_0}{a_0} \left(\frac{\partial a}{\partial y} \cdot \sin \alpha + a \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial y} \right), \end{aligned} \quad (4)$$

$$\dot{\gamma}_{xy} = \frac{V_0}{a_0} \left[\sin \alpha \left(\frac{\partial a}{\partial x} - a \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial y} \right) + \cos \alpha \left(\frac{\partial a}{\partial y} + a \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial x} \right) \right],$$

где V_0 — скорость перемещения резца;

a_0 — база сетки;

a — расстояние между соседними узлами делительной сетки вдоль траектории частиц в процессе деформации;

α — угол между касательной к траектории частиц и осью x отсчитываемый в положительном направлении.

Линии поля a (рис. 1 в) проводятся через ячейки делительной сетки, имеющие равное расстояние между средними узлами сетки вдоль траектории частиц в процессе деформации. Линии $\alpha = \text{const}$ (рис. 1 б) построены графически с помощью касательных, проведенных к траектории частиц в процессе деформации.

Для определения напряженного состояния в окрестности условной плоскости сдвига (рис. 2), последняя разбивается на ряд отдельных точек $M, 1, 2, 3$ и т. д. и в этих точках рассчитываются значения частных производных $\frac{\partial a}{\partial x}, \frac{\partial a}{\partial x}, \frac{\partial a}{\partial y}, \frac{\partial a}{\partial y}$. Для этого необходимо построить графики изменения значений a и α по осям x и y . Тангенс угла наклона кас-

тельной в рассматриваемой точке к соответствующей кривой определяет значение частной производной.

Обобщенные параметры A_α и A_β определяются следующим образом. Параллельно линии OM (рис. 2) на достаточно близком от нее расстоянии проводится линия $O'M'$. Вдоль нее, также как и вдоль линии OM , определяются значения угла Θ . Затем между этими линиями проводятся параллельные прямые, значения Θ на которых определяются линейным усреднением.

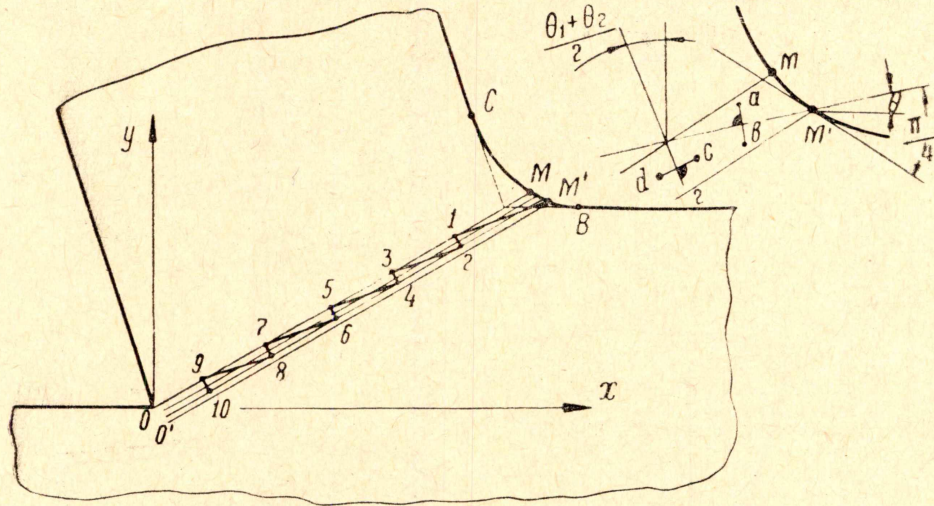


Рис. 2

В точке M' величины A_α и A_β находятся как на свободной границе, исходя из условий равновесия

$$\sigma = -K, \quad A_\alpha = 0,5 + \Theta, \quad A_\beta = 0,5 - \Theta$$

Из этой точки под углом $\frac{\pi}{4}$ к границе проводится отрезок линии скольжения семейства α . Если угол Θ_1 существенно отличается от угла $\Theta_{M'}$, то положение точки 1 уточняется проведением из точки M' луча под углом $\frac{\Theta' + \Theta_{M'}}{2}$ к оси x . В точке 1

$$(A_\alpha)_1 = (A_\alpha)_M - \frac{K_b - K_a}{2K_1 \cdot l_{a-b}} l_{M'-1} - \frac{(\Theta_{M'} + \Theta_1)(K_M - K_1)}{2K_1},$$

где $l_{M'-1}$, l_{a-b} — длины отрезков $M'-1$ и $a-b$. Отрезок ab проведен через середину отрезка $M'-1$.

K_b , K_a , K_1 — интенсивность касательных напряжений соответственно в точках b , a , 1.

Величина $(A_\beta)_1$ рассчитывается на основании известных $(A_\alpha)_1$ и Θ_1 , по зависимости $(A_\beta)_1 = (A_\alpha)_1 - 2\Theta_1$.

Далее из точки 1 под углом $\frac{\Theta_1 + \Theta_2}{2}$ к оси y проводится отрезок 1—2 линии скольжения β . В точке 2

$$(A_\beta)_2 = (A_\beta)_1 - \frac{K_c - K_d}{2K_2 \cdot l_{c-d}} l_{1-2} + \frac{(\Theta_1 + \Theta_2)(K_1 - K_2)}{2K_2}$$

$$(A_\alpha)_2 = 2\Theta_2 - (A_\beta)_2$$

Из точки 2 проводится отрезок линии скольжения α и т. д. Зная величины A_α и A_β в различных точках линии сдвига, можно рассчитать величину гидростатического давления в этих точках по уравнению (2) и по соотношениям (1) определить значения компонентов тензора напряжений в системе xu . Для определения напряжений в системе осей, одна из которых ориентирована вдоль условной линии сдвига, достаточно в соотношениях (1) заменить Θ углом $\Theta' = \Theta - \varnothing$.

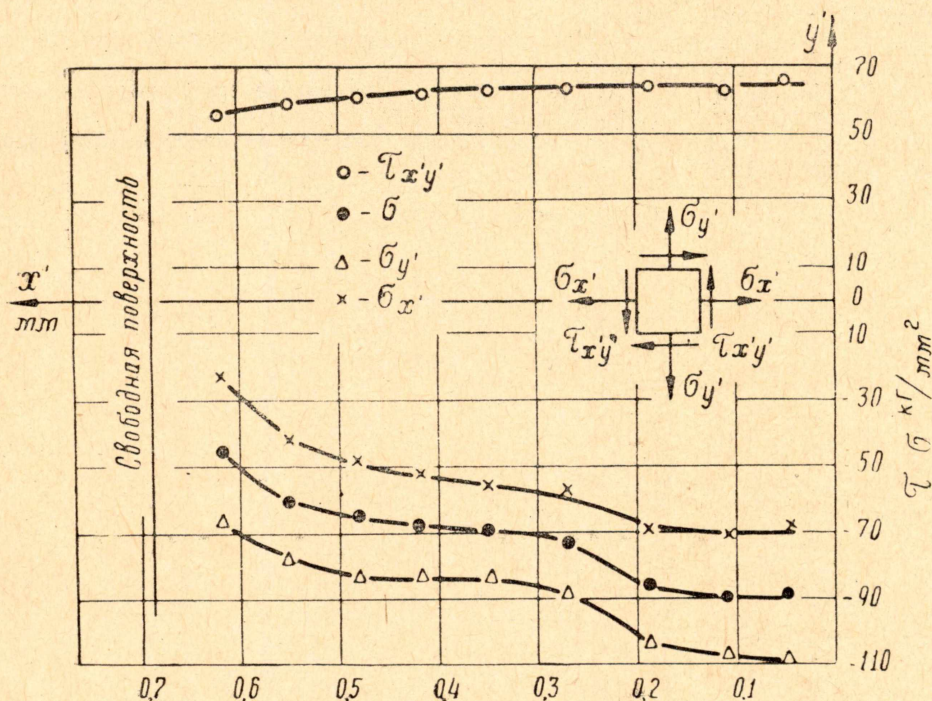


Рис. 3

На рис. 3 приведена полученная по описанной методике эпюра напряжений вдоль условной плоскости сдвига OM . Благодаря применению делительной сетки с малой базой удалось получить эпюру напряжений вблизи вершины резца. Из рис. 3 следует, что касательные напряжения вдоль условной плоскости сдвига распределены практически равномерно. Гидростатическое давление, а вследствие этого и нормальные к условной плоскости сдвига напряжения $\sigma_{y'}$, при движении от свободной границы к вершине резца остается сжимающим и возрастает по абсолютной величине.

Полученные эпюры напряжений были проверены путем сопоставления средних величин $\tau_{x'y'}$ и $\sigma_{y'}$ со средними значениями касательного и нормального напряжений, рассчитанных по силам резания. Расчетное значение касательного напряжения оказалось заниженным относительно фактического на 15,8%, а нормальное напряжение завышенным на 1,3%.

Заниженное значение расчетного касательного напряжения может быть объяснено тем, что деформация заканчивается за условной плоскостью сдвига. Это и приводит к тому, что напряжение в стружке превышает напряжение в условной плоскости сдвига.

Как следует из рис. 2, условная плоскость сдвига OM не является плоскостью максимальных касательных напряжений, так как линии скольжения семейства α ($M-1, 2-3, 4-5$ и т. д.) не совпадают с плоскостью OM . Вместе с тем нужно отметить, что к полученному выводу нужно подходить осторожно, так как он получен на основании расчета

одного корня. Для окончательного решения вопроса о том, является ли условная плоскость сдвига плоскостью максимальных касательных напряжений, необходимо провести дополнительные эксперименты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Д. Дель. Исследование пластической деформации измерением твердости. Известия ТПИ, т. 138, 1965 год.
 2. М. Г. Гольдшмидт. Исследование напряженно-деформированного состояния в зоне резания. Диссертация, Томск, 1966 год.
 3. Г. Д. Дель, М. Г. Гольдшмидт. Определение напряженного состояния в зоне резания, Известия ТПИ, т. 162, 1967 год.
 4. Г. А. Смирнов-Аляев. Сопротивление материалов пластическому деформированию, Машгиз, 1961 г.
-