

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ЖАРОПРОЧНЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ
Межвузовский сборник, вып. I, 1973 г.

УДК 621.9.011: 539.38.388.2

П.Д.Беспехотный, Ю.В.Федоров

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ И КОНТАКТНЫЕ НАГРУЗКИ ПРИ СВОБОДНОМ
РЕЗАНИИ

Исследования, проводимые в Московском авиационном институте с использованием метода сеток, позволили рассчитать напряженно-деформированное состояние металла ниже линии среза и контактные нагрузки по передней [1] и задней поверхностям инструмента.

Эксперименты проводились на различных труднообрабатываемых материалах: титановых и жаропрочных сплавах. Приводятся результаты исследования свободного резания образцов из сплава ЭИ437Б (ХН77ТЮР). Резцы из стали Р18, $\gamma = 15^\circ$, $\alpha_2 = 10^\circ$, $\lambda = 0$; скорость резания $V = 24$ м/мин, глубина резания $t = 0,6$ мм. Для осуществления условий, близких к плоскодеформированному состоянию, образцы в виде пластин выбирались достаточно широкими (3-3,5 мм). На боковую поверхность наносилась квадратная координатная сетка с базовым размером

$a_0 = 0,25$ мм. Силы резания измерялись динамометром УДМ-ВНИИ. Фотографии корней стружек проектировались на экран с увеличением в 600 раз. Расчетная схема приведена на рис. 1. Начало координат совпадает с точкой, после которой искажение сеток не происходит.

Поскольку линии сетки совпадают с траекториями перемещения частиц относительно реза [2], то за один и тот же промежуток времени

$$\Delta t = \frac{a_0}{V_0}$$

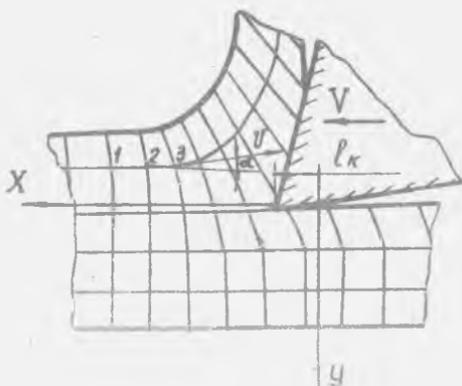


Рис. 1. Расчетная схема.

точка 1 занимает положение точки 2, точка 2 - положение точки 3 и т.д. Составляющие скорости перемещения частиц относительно реза:

$$\left. \begin{aligned} V_x &= V \cdot \cos \alpha - V_0 \\ V_y &= V \cdot \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $V = \frac{a}{\Delta t}$ - относительная скорость перемещения частиц;

a_0 - база сетки; a - расстояние между соседними узлами

вдоль траектории частиц в процессе деформации; d - угол между касательной к траектории частиц и осью x .

Компоненты тензора скорости деформации [4]

$$\dot{\epsilon}_{xx} = \frac{\partial V_x}{\partial x} = \frac{V_0}{a_0} \left(\frac{\partial a}{\partial x} \cos \alpha - a \sin \alpha \frac{\partial \alpha}{\partial x} \right)$$

$$\dot{\epsilon}_{yy} = \frac{\partial V_y}{\partial y} = \frac{V_0}{a_0} \left(\frac{\partial a}{\partial y} \sin \alpha + a \cdot \cos \alpha \frac{\partial \alpha}{\partial y} \right)$$

(2)

$$\dot{\epsilon}_{xy} = \frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} = \frac{V_0}{a_0} \left[\sin \alpha \left(\frac{\partial a}{\partial x} - a \frac{\partial \alpha}{\partial x} \right) + \right. \\ \left. + \cos \alpha \left(\frac{\partial a}{\partial y} + a \frac{\partial \alpha}{\partial y} \right) \right] \quad (2)$$

Так как уравнение неразрывности имеет вид

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0, \quad (3)$$

то

$$\dot{\epsilon}_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\dot{\epsilon}_{xx}^2 + \frac{1}{4} \dot{\epsilon}_{yy}^2} \quad (4)$$

Величины деформаций определялись интегрированием

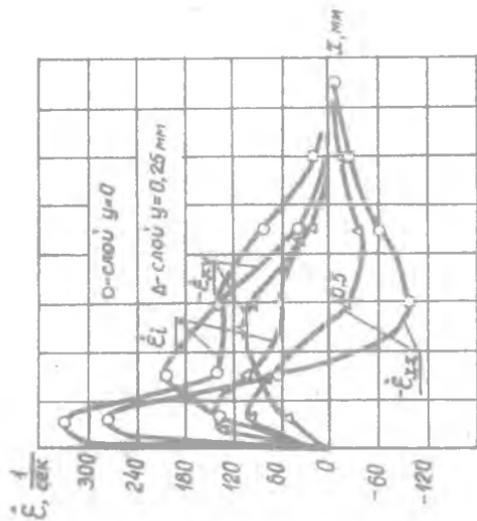
$$\epsilon_{xx} = -\epsilon_{yy} = \int \dot{\epsilon}_{xx} dt \\ \epsilon_{xy} = \int \dot{\epsilon}_{xy} dt \\ \epsilon_i = \int \dot{\epsilon}_i dt \quad (5)$$

Кривая изменений V_x подвергалась аппроксимациям. Кривые изменений V_y дифференцировались графически.

Функции $V_x = f(x)$ соответственно для $y = 0$; $y = 0,25$ мм; $y = 0,5$ имеют вид

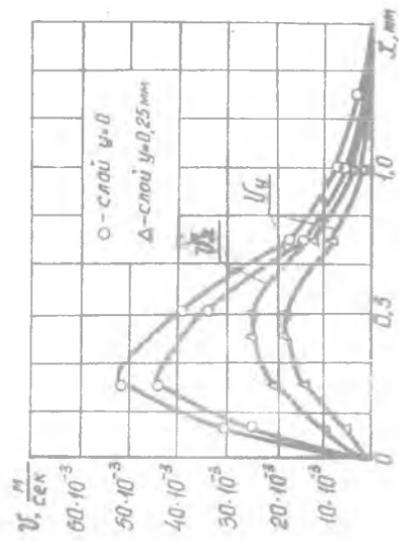
$$\left. \begin{aligned} V_x &= 4372,4 \cdot 10^{-3} x^2 e^{-6,67x} & \text{м/сек} \\ V_x &= 1120 \cdot 10^{-3} x^2 e^{-4,76x} & \text{м/сек} \\ V_x &= 21,8 \cdot 10^{-3} x^2 e^{-4,0x} & \text{м/сек} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

На рис.2 приведены графики изменения составляющих скоростей перемещений, скоростей деформаций и величин деформаций. Скорости перемещения и деформаций достигают максимального значения в точках, расположенных под верхней границей слоев. Скорости перемещения слоев металлов в эти точки снимаются вправо по оси x .

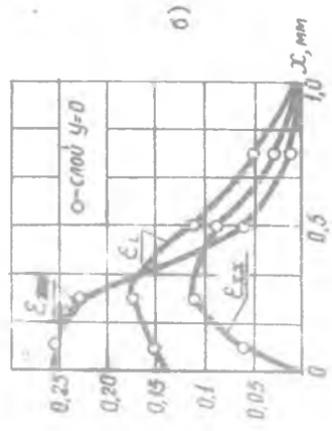


в)

Рис. 2. а) - изменение скоростей перемещений частиц по оси X; б) - изменение скоростей деформаций по оси X; в) - изменение деформаций по оси X.



в)



б)

Деформации сжатия $\dot{\epsilon}_x$ падают в последней точке контакта до нуля, а деформации сдвига $\dot{\epsilon}_{xy}$ достигают максимальных значений (за счет контактного трения) и остаются постоянными в поверхностном слое.

Проверка, проведенная по условию неразрывности, показала, что значения $\dot{\epsilon}_{xx}$ отличаются от значений $\dot{\epsilon}_{yy}$ (в тех же точках) на 10+16%. Величины сдвигов, рассчитанные по формуле П.О.Пашкова [3] и уравнению (5), отличаются на 6%.

Предлагаемая методика позволяет также рассчитать контактные нагрузки на задней грани инструмента, компоненты девиатора напряжений [4]

$$\zeta_{xx} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_i}{\dot{\epsilon}_i} \cdot \dot{\epsilon}_{xx}; \quad \zeta_{yy} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_i}{\dot{\epsilon}_i} \cdot \dot{\epsilon}_{yy}; \quad \tau_{xy} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\sigma_i}{\dot{\epsilon}_i} \cdot \dot{\epsilon}_{xy}, \quad (7)$$

где σ_i - интенсивность напряжений, которая может быть определена экспериментально измерением твердости или по кривой течения $\sigma_i - \epsilon_i$

По результатам механических испытаний образцов (образцы и пластинки изготовлялись из одной заготовки), а также по микротвердости [5] определялись значения интенсивностей напряжений σ_i и рассчитывалась удельная мощность деформации (рис. 3).

$$E_{xy} = \sigma_i \cdot \dot{\epsilon}_i \quad (8)$$

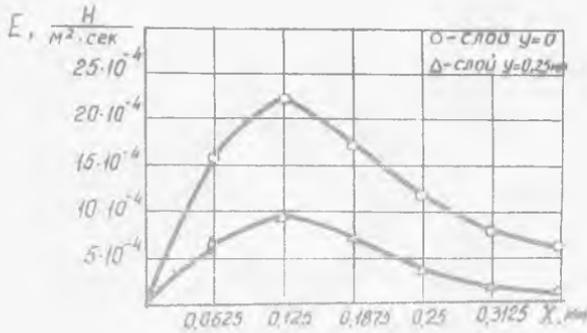


Рис. 3. Изменение удельной мощности деформаций

Зная скорости перемещения частиц [I], можно определить проекции на оси X и Y силы, необходимой для деформирования единичного объема металла

$$\left. \begin{aligned} P_{ix} &= \frac{E_{xy}}{V_x} = \frac{\sigma_i \cdot \dot{\epsilon}_i}{V_x} \\ P_{iy} &= \frac{E_{xy}}{V_y} = \frac{\sigma_i \cdot \dot{\epsilon}_i}{V_y} \end{aligned} \right\} (9)$$

Удельные нагрузки, действующие на заднюю поверхность в направлении оси X и Y, определяются как площадь под кривыми $P_{ix} = f(y)$ и $P_{iy} = f(y)$.

$$P'_{ix} = \int_y P_{ix} dy; \quad P'_{iy} = \int_y P_{iy} dy$$

По значениям P'_{ix} и P'_{iy} определялись: равнодействующая этих сил P_c , нормальные P_n , касательные нагрузки τ_F и коэффициент трения между задней гранью и обработанной поверхностью (рис. 4):

$$P_n = P_c \cdot \sin \beta; \quad \tau_F = P_c \cdot \cos \beta; \quad m = \frac{\tau_F}{\sigma_i} \quad (10)$$

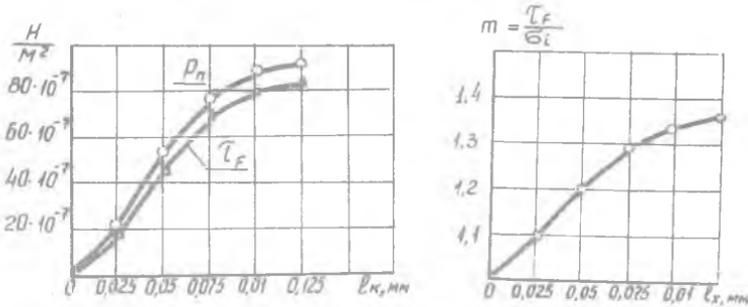


Рис. 4. а) - изменение нормальных P_n и касательных напряжений τ_F по длине контакта; б) - изменение коэффициента трения по длине контакта

где β - угол наклона равнодействующей к задней грани реза.
Нормальные и касательные напряжения вблизи режущей кромки достигают максимума.

Полученный характер распределения контактных нагрузок качественно согласуется с данными М.Ф.Полетики, С.Г.Мелихова и других авторов [6]. Таким образом, разработанные в МАИ методики дают возможность исследовать контактные нагрузки на передней и задней поверхностях инструмента.

Литература

1. Беспехотный П.Д., Шпаковский В.В., Федоров Ю.В. О контактных нагрузках и формировании поверхностного слоя при резании труднообрабатываемых материалов. Сб. "Высокопроизводительное резание и режущий инструмент" МДНТП им. Ф.Э.Дзержинского, М., 1970.

2. Дель Г.Д., Гольдшмидт М.Г. Определение напряженного состояния в зоне резания. Известия ТПИ, т. 162, Томск, 1967.

3. Пашков П.О. Пластичность и разрушение металлов. Л., "Судпромгиз", 1950.

4. Смирнов-Аляев Г.А. Сопротивление металлов пластическому деформированию. М.-Л., Машгиз, 1961.

5. Дель Г.Д. Исследование пластической деформации измерением твердости. Известия ТПИ, т.138, Томск, 1965.

6. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущей поверхности инструмента, М., Машиностроение, 1969.