

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ СТРУЖКИ СКАЛЫВАНИЯ

М. Г. ГОЛЬДШМИДТ, Г. Д. ДЕЛЬ, Г. Л. КУФАРЕВ

(Представлена научным семинаром кафедры станков и резания металлов)

Одной из основных задач в изучении процесса стружкообразования является исследование напряженного состояния в зоне резания. В связи с очень малыми размерами пластической области и значительным градиентом изменения напряжений ни одним из экспериментальных методов не было получено решения этой задачи. В лаборатории резания металлов ТПИ проверена возможность применения метода исследования пластической деформации измерением твердости [1, 2] для изучения процесса резания и разработана методика определения напряженного состояния при образовании стружки скалывания.

Ниже изложены результаты исследования напряжений в процессе образования стружки скалывания и влияния толщины среза на напряженное состояние. Исследование выполнено при свободном резании на микроскоростях ($V = 23,5$ мм/мин). Процесс резания осуществлялся поперечной подачей стола фрезерного станка 6Н13П, на станине которого был укреплен динамометр конструкции ВНИИ. Величина вертикальной подачи контролировалась по индикатору. Составляющие силы резания записывались с помощью 4-шлейфового осциллографа RFT, корни стружки фиксировались остановкой стола, причем момент остановки отмечался на осциллограмме отключением одного из 2-х шлейфов, соединенных с отметчиком времени. В связи со спецификой изучаемого процесса и экспериментального метода к свойствам исследуемых металлов предъявляются следующие требования: плавное изменение твердости, отсутствие микротрещин, периодичность процесса резания. Контроль периодичности осуществлялся сопоставлением осциллограмм составляющих силы резания, соответствующих образованию ряда последующих элементов.

Микротвердость измерялась на приборе ПМТ-3 под нагрузкой 100 г. Поверхность, на которой производились измерения, тщательно полировалась и протравливалась. Снятие наклепанного слоя проверялось путем сравнения результатов измерения твердости по Виккерсу и микротвердости. Измерения твердости производились в средних по ширине образца сечениях, где имеет место плоская деформация. В случае плоской деформации метод измерения твердости позволяет определить напряженное состояние.

Тарировочные графики, связывающие твердость H_v с интенсивностью касательных напряжений k , были получены путем испытания цилиндрических образцов из исследуемых материалов на осевое сжатие со смазкой. Интенсивность касательных напряжений определялась по формуле

$$k = \frac{4P}{\sqrt{3\pi D^2}},$$

где P — деформирующее усилие, D — диаметр сжатого образца. Микротвердость измерялась в меридианальном сечении сжатых образцов. По распределению твердости в корне стружки с помощью тарировочного графика определялось распределение k . Расшифровка выполнялась по методике, изложенной в статье [2]. Граничные условия при этом были приняты следующими: граница AB (рис. 1) свободна от нагрузки.

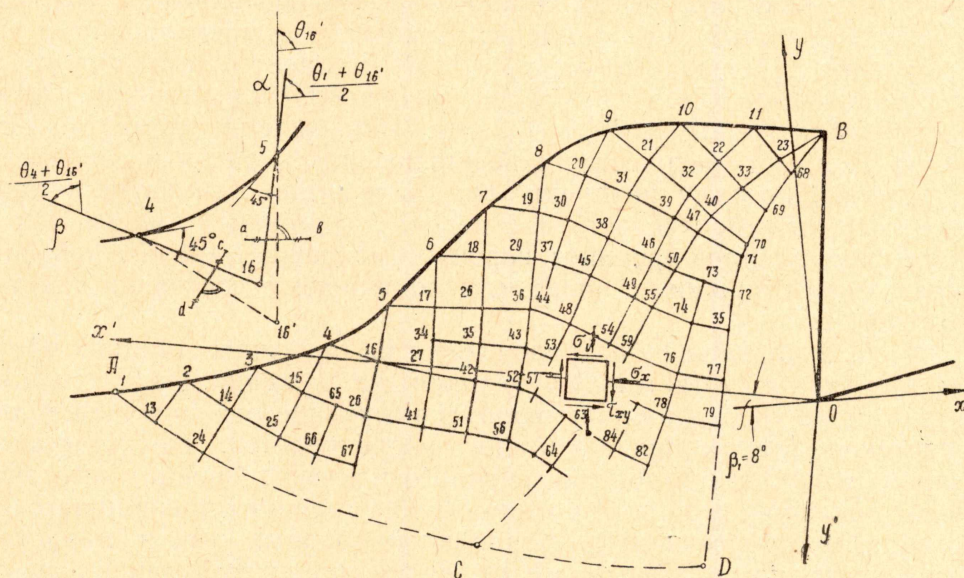


Рис. 1. Сетка линий скольжения в корне стружки.

Трением в точке B пренебрегали. В области ABC решалась задача Коши, в области CBD — начальная характеристическая задача. Вследствие недостаточности граничных условий напряжения в зоне OBD остались неизвестными. Интегралы A_α и A_β определялись в узлах сетки линий скольжения по формулам:

$$A_{\alpha 16'} = A_{\alpha 5} - \frac{k_a - k_b}{2k_{16'}} l_{5-16'},$$

$$A_{\beta 16'} = A_{\beta 34} - \frac{k_c - k_d}{2k_{16'}} l_{4-16'}.$$

По этим интегралам определялось гидростатическое давление σ и угол Θ наклона касательной к линии скольжения α :

$$\sigma = -k(A_\alpha + A_\beta), \quad \Theta = \frac{1}{2}(A_\alpha - A_\beta).$$

В отдельных случаях положение точек уточнялось по средним углам $\frac{1}{2}(\Theta_5 + \Theta_{16'})$ и $\frac{1}{2}(\Theta_4 + \Theta_{16'})$. Зная Θ в точках второго ряда, можно

получить третий ряд точек и т. д. Таким образом, были построены сетки линий скольжения для каждого из исследованных случаев. Напряжения вдоль линий будущего скола элемента определялись по следующим формулам:

$$\sigma_x = \sigma - k \sin 2\theta'; \quad \sigma_y = \sigma + k \sin 2\theta'; \quad \tau_{xy} = k \cos 2\theta',$$

где θ' — угол между касательной к линии скольжения α и линией скола

$$\theta' = \theta + \beta_1 - 180^\circ.$$

Исследование напряженного состояния по стадиям образования элемента проведено на стали X18H9T твердостью $H_v = 190-200$. Резание осуществлялось с подачей $a = 0,15$ мм резцом с передним углом $\gamma = +8^\circ$. Ширина образца составляла 3 мм. Вследствие большой упрочняемости стали X18H9T и значительной глубины пластической области, достигающей величины 3—4-х толщин среза, оказалось необходимой тщательная подготовка обрабатываемой поверхности. Эта подготовка осуществлялась путем снятия со смазкой четыреххлористым углеродом тонких стружек резцом с $\gamma = +30^\circ$. Элемент при принятых условиях резания образуется 12—13 сек. Зафиксированные корни стружки соответствуют 0,5; 1,9; 2,8; 4,1; 6,2 сек. образования элемента. Сколу элемента стружки предшествует возникновение и развитие определяющей трещины, поэтому не представилось возможности изучить напряженное состояние непосредственно перед отделением элемента, так как наличие существенной трещины, вероятно, исключает значительный прирезцовый слой стружки из области, находящейся в состоянии пластического течения.

На рис. 2 приведено распределение k на различных стадиях образования элемента и соответствующие эпюры напряжений. Из рисунка видно, что по мере увеличения размеров формирующегося элемента область пластической деформации постоянно увеличивается. Не остается постоянным и положение зон повышенного наклепа. Специальные эксперименты показали, что после возникновения трещины прекращается как увеличение пластически деформированной области, так и нарастание наклепа в основном объеме элемента. Явления, сопутствующие развитию трещины и разрушению, сопровождаются существенным повышением твердости в зонах, примыкающих к поверхности разрушения. Анализ микрофотографий корней стружки и отделившихся элементов показал, что скол происходит под углом $\beta_1 = 8^\circ$ вдоль линии, близкой в рассматриваемом сечении к прямой.

Распределение напряжений вдоль линий, параллельных линии скола, отличается существенной неравномерностью и, несмотря на изменение границы элемента, имеет для всех стадий его образования качественно идентичный характер. Наибольшая неравномерность характерна для напряжений σ_y , которые во всех исследованных случаях меняют знак. Распределение напряжений τ_{xy} и σ_x более равномерно.

Контур области, в которой твердость равна исходной, является упруго-пластической границей. Понятно, что по мере приближения к этому контуру, изосколяры по своему очертанию все более приближаются к границе пластической области. Сопоставление картины изосколяр с сеткой линий скольжения показало, что по мере приближения к границе линии скольжения семейства β практически сливаются с изосколярами. Это показывает, что граница пластической области при образовании стружки скалывания является линией скольжения.

Большой интерес представляет изучение напряженного состояния при изменении толщины среза, так как известно, что последняя в большой степени определяет вид образующейся стружки. Эта часть работы

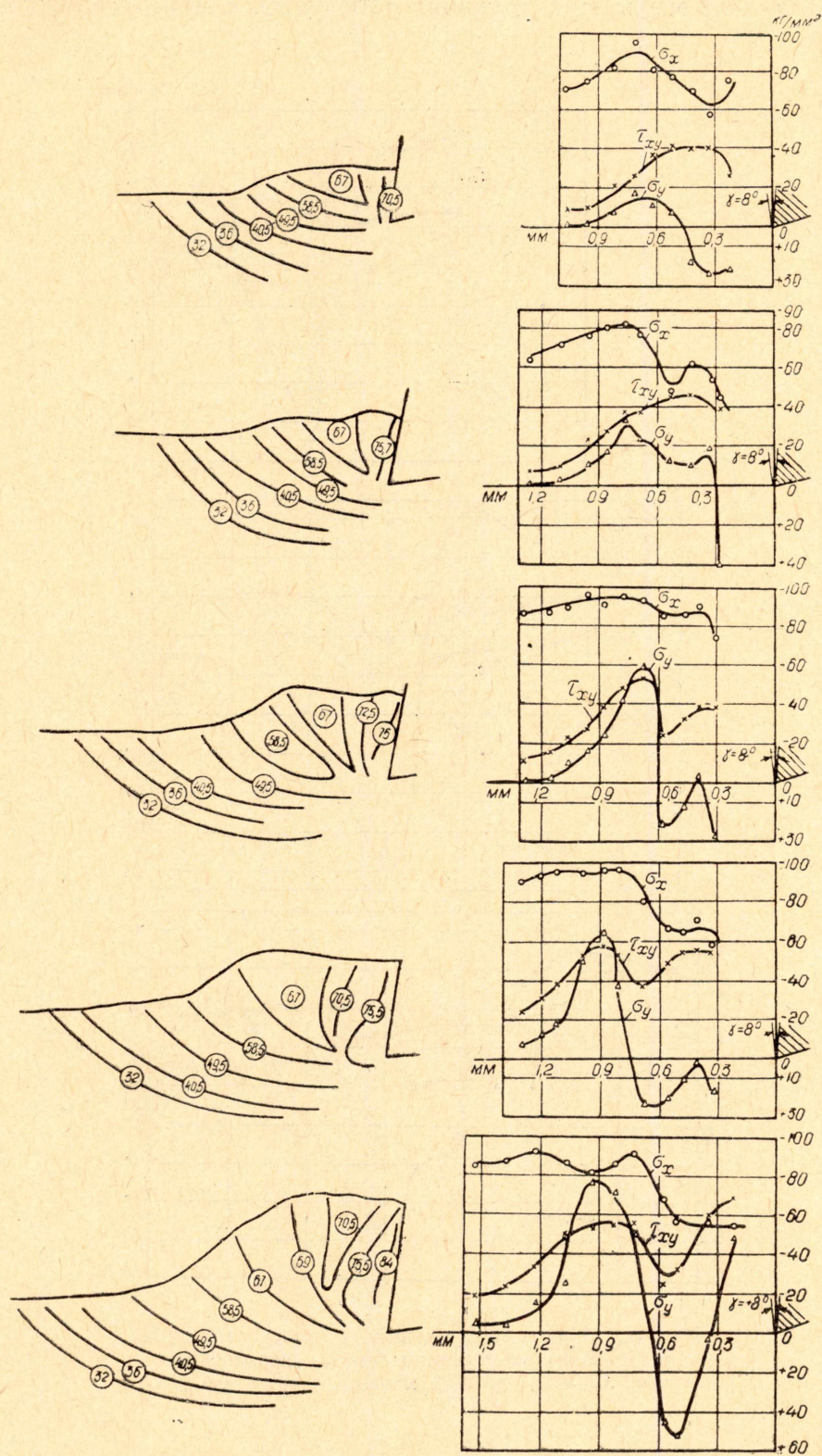


Рис. 2. Напряженное состояние в процессе образования элемента стружки при резании стали X18H9T ($v=23,5$ мм/мин, $a=0,15$ мм).

проведена при резании латуни ЛС59-1 с переменной толщиной среза ($a = 0,4; 0,6; 0,8$ мм) резцом с передним углом $\gamma = +29^\circ$. При толщине среза $a \leq 0,2$ мм в этих условиях образуется сливная стружка. Уве-

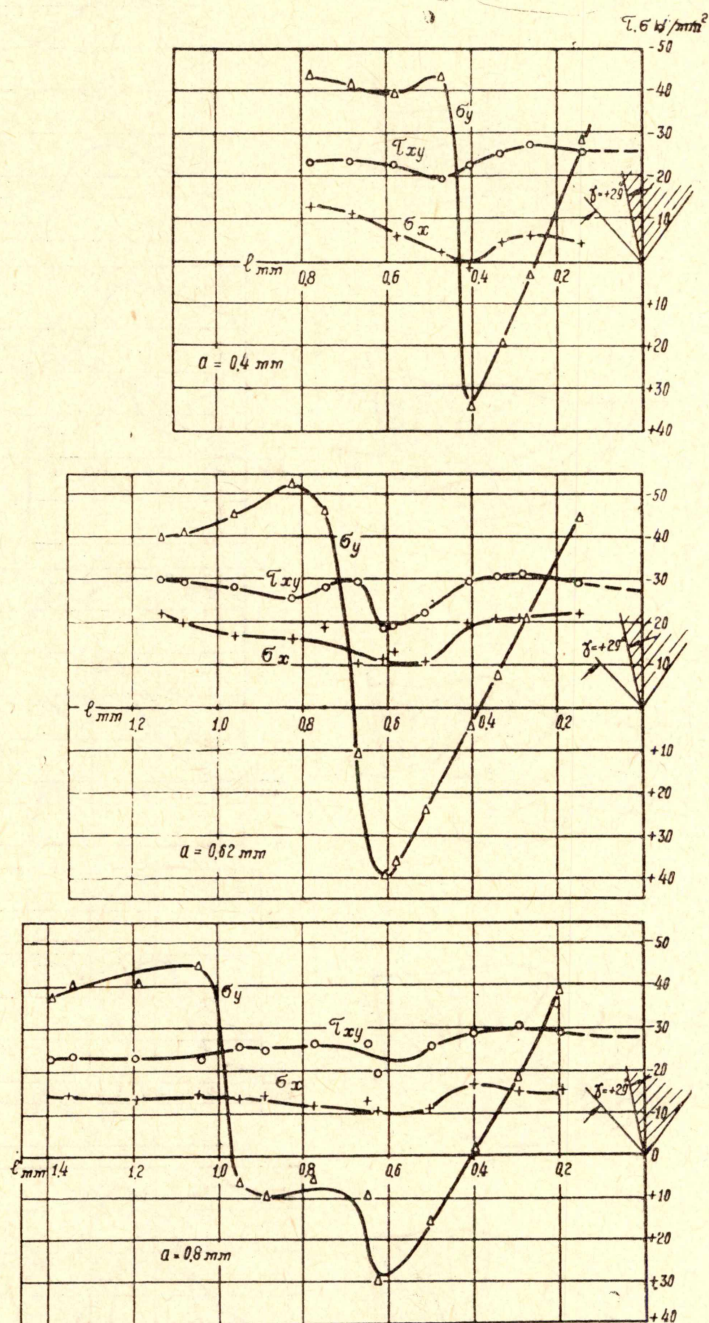


Рис. 3. Эпюры напряжений в плоскости скола в зависимости от толщины среза (резание латуни ЛС59-1, $v=23,5$ мм/мин, $s=2,8$ мм).

личение толщины среза приводит к образованию стружки скалывания. Корни стружки фиксировались в момент, предшествующий образованию трещины. При резании латуни ЛС59-1 толщина среза не влияет на угол скола элемента, поверхность скола близка к плоскости, и деформация по всей ширине образца может быть принята за плоскую [3].

На рис. 3 и 4 показаны эпюры напряжений, действующих в плоскости скола элемента, и распределение гидростатического давления (взаимное положение инструмента и плоскости скола сохранено). Касательные напряжения здесь распределены относительно равномерно. Это позволило экстраполировать значение среднего касательного напряжения до вершины резца и сравнить его со средним касательным напряжением, рассчитанным по данным динамометрирования силы резания.

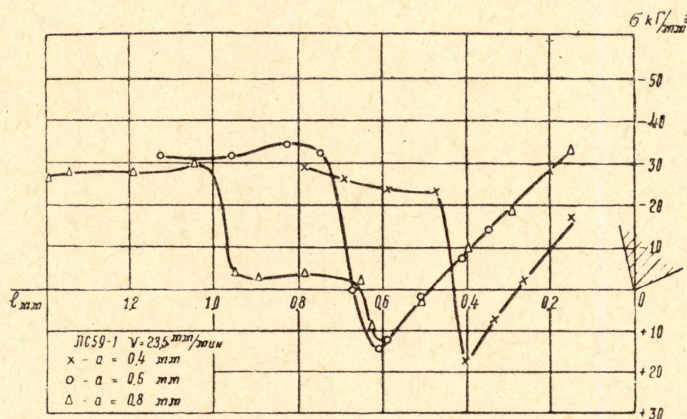


Рис. 4. Гидростатическое давление в плоскости скола элемента стружки.

При этом силы на задней грани были выделены методом А. М. Розенберга, площадь действия силы P_τ измерена непосредственно на корне стружки. Результаты проверки приведены в таблице.

Таблица 1

Толщина среза, мм	Среднее касательное напряжение, кг/мм²		Погрешность, %
	расчетное по диаметру		
0,4	25	23,9	4,4
0,6	27	27,6	2,2
0,8	26,6	26	2,3

Сравнение показало, что разница во всех трех случаях не превысила 5%, что свидетельствует о большой точности экспериментального определения напряженного состояния по распределению твердости.

Выводы

1. Метод исследования пластической деформации измерением твердости приемлем для определения напряженного состояния в зоне резания.
2. Распределение нормальных напряжений вдоль плоскости скола элемента отличается существенной неравномерностью. Касательные напряжения распределены более равномерно. Степень неравномерности зависит от свойств обрабатываемого материала. В процессе образования элемента эпюры напряжений являются качественно идентичными.
3. Изменение толщины среза несущественно влияет на напряженное состояние в зоне резания.
4. Граница пластической области при образовании стружки скалывания является линией скольжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Смирнов-Аляев. Сопротивление материалов пластическому деформированию, Машгиз, 1962.
 2. Г. Д. Дель. Исследование пластической деформации измерением твердости, Известия ТПИ, т. 138, 1965.
 3. Резание металлов и инструмент. Под ред. А. М. Розенберга, Машиностроение, 1964.
-