

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ОСНОВНЫХ ГИПОТЕЗ О НАПРЯЖЕНИЯХ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ

Г. Л. КУФАРЕВ, М. Г. ГОЛЬДШМИДТ, В. А. ГОВОРУХИН

(Представлена научным семинаром кафедр
станков и резания металлов и технологии машиностроения)

Для полного решения вопросов динамики процесса резания необходимо располагать данными о напряженном состоянии в различных точках зоны стружкообразования, которая, как показали исследования, имеет существенные размеры даже при скорости резания до 250 м/мин [1]. При решении некоторых частных вопросов, вследствие отсутствия подробной информации, исследователи анализировали напряжения на условной плоскости сдвига, задаваясь теми или иными законами их распределения [2, 3 и др.]. Справедливость таких решений может быть оценена после анализа положенных в их основу гипотез, в частности, о характере изменения касательных и нормальных напряжений в условной плоскости сдвига.

В результате обширных экспериментов Н. Н. Зорев пришел к выводу о том, что сопротивление сдвигу при резании можно рассматривать как константу обрабатываемого материала [4]. Известно также, что микротвердость на условной линии сдвига приблизительно постоянна. Эти обстоятельства привели многих исследователей к мысли о том, что равномерное распределение касательных напряжений в плоскости сдвига является наиболее вероятным. Однако прямое экспериментальное подтверждение этой гипотезы было получено сравнительно недавно в работах [5, 6, 7].

Если равномерное распределение касательных напряжений является общепринятым, то относительно эпюры нормальных напряжений существуют различные мнения. Многие авторы принимают равномерный закон распределения напряжений [2, 3 и др.]. Так, М. И. Клушин [3], используя уравнения равновесия для плоской деформации, доказывает постоянство гидростатического давления вдоль условной плоскости сдвига. Вероятно, анализ напряжений, исходя из схемы с единственной плоскостью сдвига без учета зоны деформации, дал ему основание принять $\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0$, т. е. отсутствие упрочения материала в зоне стружкообразования. Выводы М. И. Клушина справедливы, таким образом, только для неупрочняющегося материала и лишь в том случае, когда условная плоскость сдвига совпадает с линией скольжения.

На неравномерность распределения нормальных напряжений указывают в своих аналитических исследованиях Оксли [8], Альбрехт [9].

В результате разработанного Г. Д. Делем метода исследования пластической деформации измерением твердости [10] и применения этого метода к экспериментальному изучению процесса резания представилось возможным оценить правомерность изложенных выше гипотез. Расчет напряжений вдоль условной линии сдвига, выполненный по методике, изложенной в работе [5], показывает следующее.

Независимо от условий процесса резания (переднего угла инструмента, скорости резания, толщины среза) и вида стружкообразования касательные напряжения вдоль условной линии сдвига распределены практически равномерно.

Величина касательных напряжений τ_{xy} зависит от их интенсивности k , определяемой по микротвердости деформированного металла: $\tau_{xy} = k \cos 2\Theta$, где Θ — угол между положительным направлением оси x и линией скольжения.

Таблица 1

| № п/п | Условия резания | | | | Ф | $\Theta'_{\text{ср}}$ | Δ |
|-------|-----------------|-------|-------|----------------|------|-----------------------|------|
| | материал | м/мин | мм/об | γ° | | | |
| 1 | 2X13 | 91 | 0,31 | 16 | 31,5 | 39 | +7,5 |
| 2 | 2X13 | 51 | 0,31 | 5 | 25 | 24,5 | -0,5 |
| 3 | 2X13 | 55 | 0,31 | 20 | 30 | 37,4 | +7,4 |
| 4 | 2X13 | 26,6 | 0,31 | 16 | 18,5 | 24,1 | +5,6 |
| 5 | 2X13 | 56 | 0,31 | 17 | 30 | 32,6 | +2,6 |
| 6 | 2X13 | 141 | 0,31 | 15 | 28,5 | 33,8 | +5,2 |
| 7 | 2X13 | 103 | 0,105 | 17 | 32 | 31 | -1 |
| 8 | 2X13 | 100 | 0,215 | 17 | 34,5 | 31,7 | -2,8 |
| 9 | 2X13 | 93 | 0,39 | 17 | 34,5 | 33,7 | -0,8 |
| 10 | Л62 | 21 | 0,31 | 16 | 22,5 | 24,3 | +1,8 |
| 11 | Л62 | 49,2 | 0,31 | 16 | 23,5 | 24,4 | +0,9 |
| 12 | Л62 | 103 | 0,31 | 16 | 26 | 31,1 | +5,1 |
| 13 | Л62 | 176 | 0,31 | 16 | 29 | 27,5 | -1,5 |
| 14 | Л62 | 251 | 0,31 | 16 | 27,5 | 34,2 | +6,7 |
| 15 | ШХ15 | 173 | 0,31 | 18 | 31 | 32,7 | +1,7 |
| 16 | ШХ15 | 98 | 0,31 | 17 | 31,5 | 22,1 | -9,4 |
| 17 | ШХ15 | 48,5 | 0,31 | 17 | 27 | 18,4 | -8,6 |

Примечание: угол Θ' рассчитан в системе осей $x' y'$.

Напряжения в плоскости сдвига определяются в системе осей xy ; $\tau_{xy} = k$ при $\cos 2\theta = 1$, т. е. при совпадении плоскости сдвига с линией скольжения.

Для выяснения вопроса о совпадении условной плоскости сдвига с линией скольжения рассчитаны значения θ' для 17 различных случаев процесса резания. Результаты этого расчета представлены значением $\theta'_{\text{ср}}$ для каждого случая и сопоставлены с углом Φ в табл. 1.

Как видно из табл. 1, разница в углах $\theta'_{\text{ср}}$ и Φ , измеряемая углом Δ , имеет место почти во всех рассчитанных случаях, причем может быть как положительной, так и отрицательной. Таким образом, можно считать, что отождествлять понятия «условная линия сдвига» и «линия скольжения» неверно, хотя в отдельных случаях линия скольжения подходит весьма близко к условной линии сдвига.

Нормальные напряжения во всех рассчитанных случаях распределены неравномерно. На основании полученных данных о распределении напряжений вдоль условной плоскости сдвига оказывается возможным провести анализ влияния факторов процесса резания на характер эпюры нормальных напряжений. В связи с тем, что условная

плоскость сдвига составляет с линией скольжения небольшой угол (в наших расчетах не более 10°), нормальное напряжение вдоль АВ (рис. 1) не очень существенно отличается от гидростатического давления σ .

На свободной поверхности зоны стружкообразования гидростатическое давление $\sigma = -k$. Твердость, а следовательно, и интенсивность касательных напряжений в условной плоскости сдвига при изменении переднего угла и условий контакта на передней грани инструмента изменяются незначительно. Так, при резании латуни Л62 изменение переднего угла с 42° до 8° привело к изменению микротвердости вдоль условной линии сдвига на 8%.

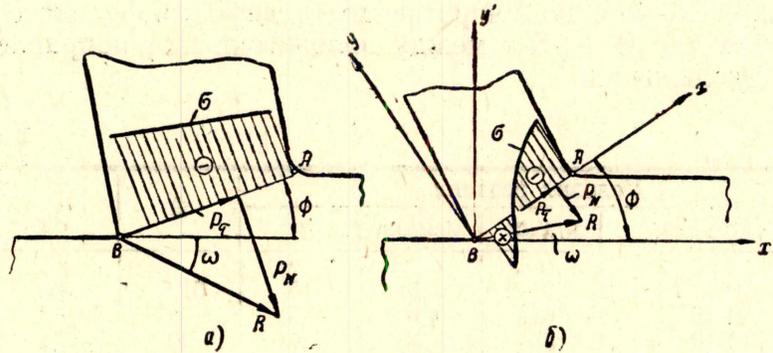


Рис. 1

Следовательно, в первом приближении можно полагать, что гидростатическое давление в точке А не зависит от условий процесса резания. При этом характер эпюры σ будет зависеть только от положения равнодействующей силы резания, приложенной к передней грани инструмента R . Это следует из рис. 1: поворот равнодействующей в сторону увеличения положительного значения угла действия ω увеличивает нормальную силу P_N ; при $\sigma_A = \text{const}$ для уравнивания силы требуется различный характер изменения σ ; чем лучше условия смазки и больше передний угол инструмента, тем больше закон изменения σ должен приблизиться к схеме, показанной на рис. 1, б. С уменьшением переднего угла инструмента и увеличением среднего коэффициента трения на передней грани эпюра σ будет, проходя все промежуточные стадии, приближаться к схеме на рис. 1, а. И лишь в частном случае распределение нормальных напряжений на условной плоскости сдвига может быть равномерным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Л. Куфарев, В. А. Говорухин, М. Г. Гольдшмидт. Зона деформации при резании металлов (статья в настоящем сборнике).
2. Л. М. Седоков. Напряженное состояние в зоне пластической деформации в процессе резания металлов. Изв. ТПИ, т. 114, 1964.
3. М. И. Клушин. Расчет режущей части инструмента на прочность. «Станки и инструмент», № 2, М., 1958.
4. Н. Н. Зорев. Вопросы механики процесса резания металлов. Машгиз, М., 1956.
5. Г. Д. Дель, М. Г. Гольдшмидт. Определение напряжений в зоне резания. Известия ТПИ, т. 162, 1967.

6. Г. Л. Куфарев, В. А. Говорухин. Напряженное состояние при резании металлов на высокой скорости. Известия ТПИ, т. 183, 1968.

7. М. Г. Гольдшмидт, Г. Д. Дель, Г. Л. Куфарев. Напряженное состояние при образовании стружки скальвания. Известия ТПИ, т. 139, 1966.

8. П. Оксли. Механизм резания металлов с переменным пределом текучести. Конструирование и технология машиностроения. «Мир», серия В, № 4, М., 1963.

9. Альбрехт. Новые положения в теории резания металлов. Конструирование и технология машиностроения. «Мир», серия В, № 3, ИЛ, М., 1961.

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