

СОПРОТИВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

Г. Л. КУФАРЕВ, В. А. ГОВОРУХИН

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

В работе [1] показано, что при резании металлов каждая частица обрабатываемого материала, попадая в зону стружкообразования, деформируется в каждой точке этой зоны при различном температурно-скоростном режиме. Это обстоятельство должно накладывать отпечаток на кривую течения $\sigma_i - \dot{\epsilon}_i$ при резании.

Для того, чтобы рассчитать силы резания, необходимо знать, в первую очередь, максимальное касательное напряжение, действующее на верхней границе зоны стружкообразования. А это возможно только в том случае, если известна действительная кривая течения при резании и степень деформации материала в стружке. Определение кривой течения в процессе резания возможно и показано в работе [2], однако является трудоемкой и кропотливой работой. Вторым возможным путем определения максимального касательного напряжения при резании является проведение механических испытаний обрабатываемого материала в заданных температурно-скоростных режимах деформирования. Однако и этот путь является трудоемким из-за бесчисленного множества экспериментов при механических испытаниях и невозможности в настоящее время провести механические испытания при таких скоростях деформации, которые сопровождают процесс резания. В принципе этот путь в дальнейшем перспективен и, очевидно, найдет широкое применение при некоторых допущениях. Одним из допущений этого пути решения является перенесение зависимостей, полученных при иных схемах деформирования, на процесс резания.

В теории обработки материалов давлением при различных температурах и скоростях деформации широкое применение нашли следующие зависимости [3, 4]:

$$\sigma_V = \sigma_0 + c \cdot \ln \frac{\dot{\epsilon}_i}{\dot{\epsilon}_{i_0}}, \quad (1)$$

$$\sigma_i = \sigma'_0 \cdot e^{-a \cdot T}. \quad (2)$$

Зависимость (1) в настоящее время считается наиболее приемлемой для неполной холодной деформации.

σ_V — сопротивление деформированию при данной скорости деформации $\dot{\epsilon}_i$.

σ_0 — сопротивление деформированию при скорости деформации $\dot{\epsilon}_{i_0}$;
 σ_t — сопротивление деформированию при температуре деформации $T^\circ\text{K}$.

a — температурный коэффициент, зависящий от рода материала и скорости деформации.

c — скоростной коэффициент.

σ'_0 — сопротивление деформированию, экстраполированное до 0°K .

e — основание натуральных логарифмов.

Если далее предположить, что модуль пластичности при изменении скорости деформации в области изменения температур деформации при резании остается постоянным, то напряжения в процессе резания можно определить по формуле

$$\sigma_i = \sigma_0 \cdot e^{-aT} + c \cdot \ln \frac{\dot{\epsilon}_i}{\dot{\epsilon}_{i_0}}, \quad (3)$$

здесь σ_0 — сопротивление деформированию при данной степени деформации в условиях статического сжатия при комнатной температуре, определяемое по кривой течения, которая хорошо аппроксимируется уравнением

$$\sigma_0 = A \cdot \epsilon_i^k,$$

где ϵ_i — интенсивность деформации,

A, k — постоянные коэффициенты, зависящие от материала.

Одним из возможных вариантов решения уравнения (3) является вариант, описываемый ниже.

Предположим, что влияние скорости деформации на напряжение при резании можно оценить опытами на растяжение или сжатие при одинаковом уровне скорости нагружения. Под скоростью нагружения понимают изменение прикладываемого напряжения в единицу времени.

Будем считать далее, что влияние скорости в процессе резания определяется ее максимальным значением в зоне стружкообразования, поскольку и степень деформации наиболее быстро нарастает в момент, когда скорость деформации максимальна.

Ю. Я. Волошенко-Климовицкий [5] при ударном растяжении железа Армко и сталей ст. 45, ст. 30ХГСА, ст. 40Х, ст. ШХ15 со скоростью удара 8,7 м/сек. (скорость нагружения была постоянной в опытах и составляла $\dot{\sigma}_i = 3 \cdot 10^6 \text{ кг/мм}^2 \text{ сек}$) получил уменьшение коэффициента динамичности η при увеличении статического предела текучести. Под коэффициентом динамичности понимается отношение динамического предела текучести σ_d к статическому σ_0 . Можно предположить, что использованные в настоящем исследовании металлы удовлетворяют зависимости $\eta = f(\sigma_0)$, полученной Ю. Я. Волошенко-Климовицким. Математическая обработка этой зависимости показала, что она очень хорошо удовлетворяет уравнению

$$\sigma_d = 27 \cdot \sigma_0^{0,35}.$$

Скорость нагружения в процессе резания оценивалась возрастанием интенсивности напряжения в единицу времени. Интенсивность напряжений в каждой точке определялась по известному распределению микротвердости в пластической области и тарировочному графику, связывающему напряжения с твердостью и полученному при механических испытаниях материала на сжатие. Результаты расчета скорости

нагружения для сталей ст. 40, ст. 2Х13, ст. ШХ15 и латуни Л62, обработывавшихся при различных режимах резания, представлены на рис. 1.

Оказалось, что скорость нагружения почти не зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, подачи и геометрии инструмента и определяется в основном скоростью резания. Из рис. 1 следует, что при изменении скорости резания от 40 м/мин. до 250 м/мин. максимальная скорость нагружения в зоне стружкообразования изменяется в пределах от $1 \cdot 10^5$ кг/мм²сек. до $7 \cdot 10^5$ кг/мм²сек. Поэтому можно считать, что скорость нагружения при практически применяющихся скоростях резания в среднем имеет значение $4 \cdot 10^5$ кг/мм²сек.

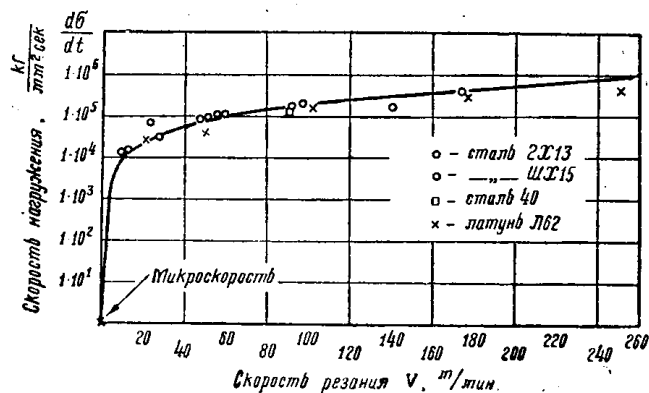


Рис. 1

Процесс резания металлов является процессом пластической деформации и он должен подчиняться закономерностям пластической деформации, установленным в других процессах деформации, хотя схема деформирования может внести некоторые особенности в эту зависимость. Если отвлечься от влияния температурного фактора в процессе резания, то можно перенести зависимость $\sigma_d = 27 \cdot \sigma_0^{0,35}$, полученную при динамическом растяжении, на процесс резания при равных скоростях нагружения. Тогда можно полагать, что в процессе резания металлов динамический предел текучести должен составлять ту же величину. Перенос зависимости $\sigma_d = f(\sigma_0)$, полученной для динамического растяжения со скоростью нагружения $3 \cdot 10^6$ кг/мм²сек., на процесс резания со средней скоростью нагружения $4 \cdot 10^5$ кг/мм²сек. вполне правомочен, так как работы [6, 7] показали, что изменение скорости деформации в пределах одного порядка несущественно влияет на изменение напряжений. Следовательно, большой погрешности при переносе этой зависимости на процесс резания не допускается.

Тогда напряжения в процессе резания без учета температурной поправки определяются из выражения:

$$\sigma_p = \sigma_0 + (27 \cdot \sigma_{0,2}^{0,35} - \sigma_{0,2}) \text{ кг/мм}^2, \quad (4)$$

где

σ_0 — интенсивность напряжений в процессе статического сжатия при данной степени деформации.

$\sigma_{0,2}$ — условный предел текучести при статическом сжатии.

Определяется по кривой течения при сжатии при $e_i = 0,2$.

Выражение $(27 \cdot \sigma_{0,2}^{0,35} - \sigma_{0,2})$ учитывает повышение напряжений при скорости нагружения $3 \cdot 10^6$ кг/мм²сек.

Для определения поправки на напряжение, вызванной отдыхом, была проведена серия экспериментов по резанию различных по химсоста-

ву и служебным свойствам сталей нескольких классов — углеродистая сталь (ст. 10, ст. 20, ст. 60, ст. У10А), конструкционная легированная сталь (ст. 30ХГСА, ст. 45Х), коррозионно-стойкая жаропрочная сталь (ст. 2Х13, ст. 4Х13, ст. Х12), штамповая хромованадиевая сталь (ст. 3Х2В8).

Все обрабатываемые материалы подвергались отжигу для снятия внутренних напряжений и механическим испытаниям на статическое сжатие при комнатной температуре для получения кривой течения.

Напряжения в условной плоскости сдвига определялись по силам, измеренным в процессе резания, а степень деформации — по усадке стружки.

$$\sigma_i = \sqrt{3} \frac{P_r \cdot \sin \Phi}{a \cdot b}, \quad (5)$$

$$e_i = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{\zeta^2 - 2\zeta \cdot \sin \gamma + 1}{\zeta \cdot \cos \gamma}, \quad (6)$$

где.

Φ — угол, определяющий положение условной плоскости сдвига, в град.

γ — передний угол инструмента, в град.

P_r — сила, действующая вдоль условной плоскости сдвига, в кг.

a, b — толщина и ширина срезаемого слоя, в мм.

ξ — усадка стружки.

Расчет напряжений проводился только для сливных стружек в области режимов резания, когда отсутствовал нарост на резце.

Результаты экспериментов по резанию и сжатию, представленные на рис. 2 в качестве примера для 5 марок сталей, дают большую возможность для определения разупрочнения в процессе резания. Как следует из представленных графиков, напряжения в процессе резания σ_i меньше σ_p на величину $\Delta\sigma_i$, вызываемую отдыхом в процессе деформации, следовательно, разность между σ_p и действительными напряжениями σ_i в процессе резания определяет величину $\Delta\sigma_i$.

$$\Delta\sigma_i = f(T, e_i) = \sigma_p - \sigma_i. \quad (7)$$

Расчеты, проведенные по формуле (7) при значениях e_i , имеющих место в процессе резания каждого из материалов, показали, что величина напряжений $\Delta\sigma_i$ определяется, в первую очередь, степенью деформации и хорошо удовлетворяется уравнением вида:

$$\Delta\sigma_i = B \cdot e_i^b, \quad (8)$$

где

B, b — коэффициенты, постоянные для каждого материала.

Анализ полученных коэффициентов B и b показал, что линейной связи между ними и теплофизическими характеристиками не существует. Оказалось, что такая связь имеется с условным пределом текучести $\sigma_{0,2}$. Линейная аппроксимация значений B и b методом наименьших квадратов позволила получить уравнения для определения их величины в зависимости от условного предела текучести:

$$B = 80,4 - 0,44 \sigma_{0,2}; \quad (9)$$

$$b = 0,0035 \cdot \sigma_{0,2}. \quad (10)$$

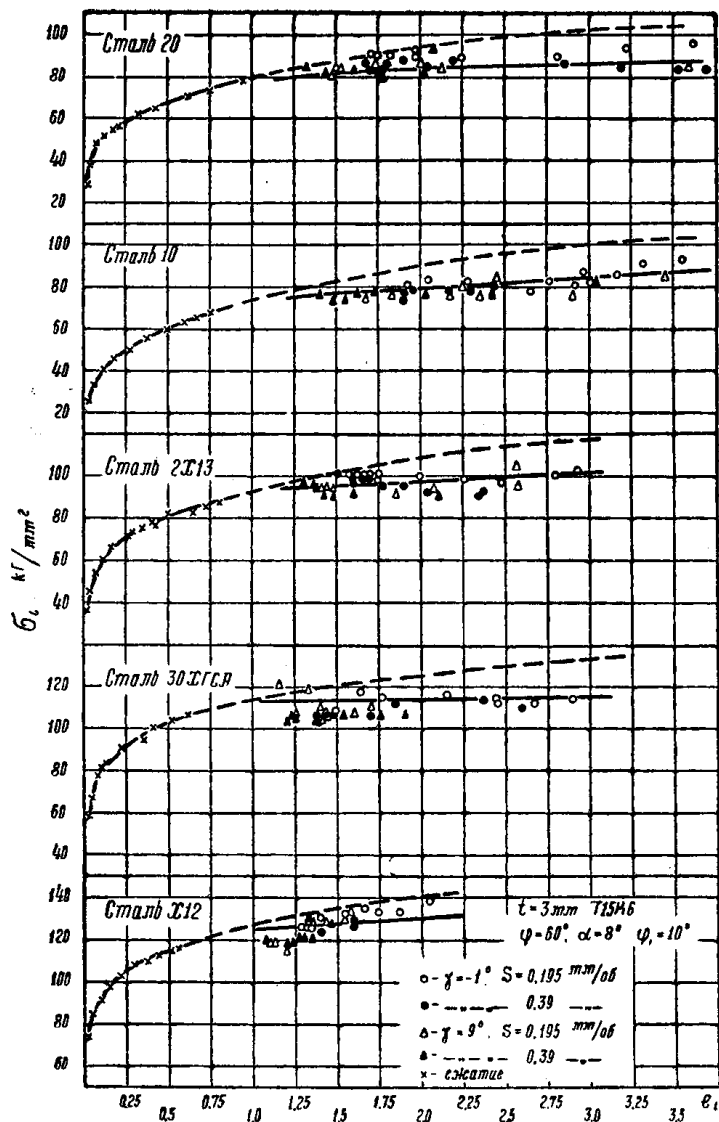


Рис. 2

Тогда уравнение для расчета конечных напряжений в процессе резания в условной плоскости сдвига с учетом температурно-скоростного режима имеет вид

$$\sigma_i = \sigma_0 + \Delta\sigma_V - \Delta\sigma_t. \quad (11)$$

Для того, чтобы рассчитать напряжения по формуле (11), необходимо знать:

1. Кривую течения $\sigma_0 = A \cdot e_i^k$, полученную при статическом сжатии образцов из данного материала в условиях комнатной температуры.
2. Конечную интенсивность деформации материала в стружке.

Уравнение (11) пригодно лишь для материалов, дающих при резании сливную стружку, и процесса резания, близкого к схеме плоской деформации.

Уравнение (11) было проверено по результатам экспериментов Н. Н. Зорева [8]. Сравнение расчетных и экспериментальных значений интенсивности напряжений в условной плоскости сдвига представлено на рис. 3. На этих графиках по экспериментальным точкам сплошной линией проведена кривая течения при сжатии или растяжении. В об-

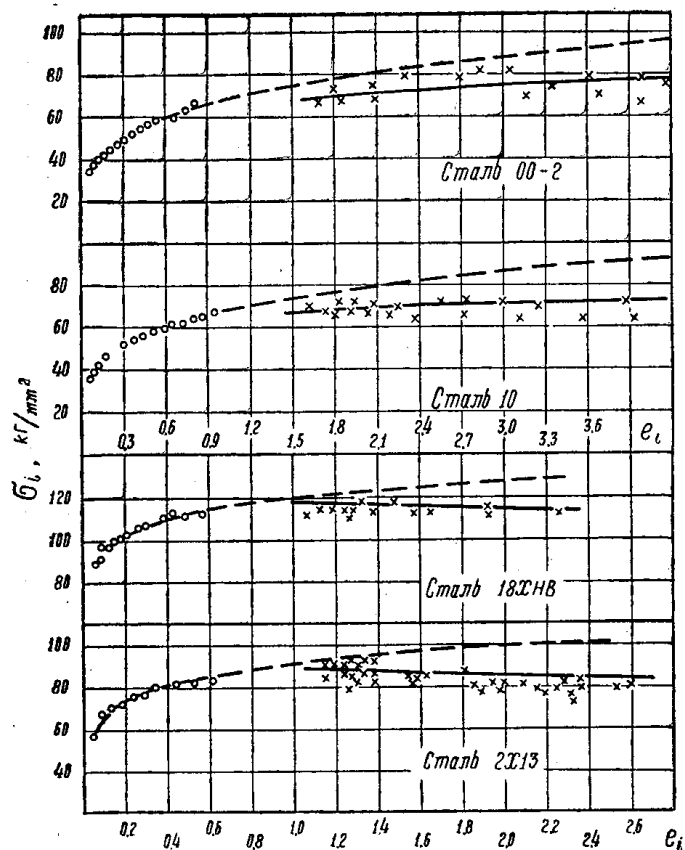


Рис. 3

ласти высоких значений деформаций e_i она проведена пунктиром согласно аппроксимации Н. Н. Зорева. Крестиками на графике обозначены экспериментальные значения σ_i и e_i , определенные в опытах по резанию. Здесь же сплошной линией показаны результаты расчета σ_i по уравнению (11).

Таким образом, полученное уравнение (11) удовлетворительно соответствует экспериментальным данным при резании 18 весьма различных по характеристикам материалов и может быть рекомендовано для практического использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Говорухин, Г. Л. Куфарев. Температурно-скоростной режим деформирования при резании металлов. Изв. ТПИ, т. 224.
2. В. А. Говорухин, Г. Л. Куфарев. О совпадении кривой течения в процессах резания и сжатия. Изв. ТПИ, т. 209, в печати.
3. Н. П. Агеев, С. И. Каратушин. Механические испытания металлов при высоких температурах и кратковременном нагружении. «Металлургия», М., 1968.
4. И. Е. Тарновский, А. А. Поздеев и др. Механические свойства стали при горячей обработке давлением. Metallurgizdat, Свердловск, 1960.
5. Ю. Я. Волощенко-Климовицкий. Динамический предел текучести. «Наука», М., 1965.
6. Л. М. Шестопалов. Деформирование металлов и волны пластичности в них. АН СССР, М.—Л., 1958.
7. Г. И. Погодин-Алексеев. Динамическая прочность и хрупкость металлов. М., «Машиностроение», 1966.
8. Н. Н. Зорев. Вопросы механики процесса резания металлов. Машгиз, М., 1956.