ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА им. С. М. КИРОВА

Том 224 1976

ТЕМПЕРАТУРНО-СКОРОСТНЫЕ УСЛОВИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ

В. А. ГОВОРУХИН, Г. Л. КУФАРЕВ

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

Процесс стружкообразования при резании пластичных металлов является процессом пластической деформации, протекающим в пространстве, ограниченном нижней и верхней границами зоны пластической деформации, и во времени, необходимом для того, чтобы каждая частица металла прошла свой путь в зоне пластической деформации. Заменять зону пластической деформации единственной плоскостью сдвига, как это делают многие исследователи, дающие теоретическое решение процесса резания, нельзя. Такая замена исключает из рассмотрения основное существо явления — процесс деформации и позволяет анализировать лишь результаты этого процесса. Поэтому естественно, что многие своеобразия результата процесса деформации при резании остаются необъясненными.

Таким образом, требование дальнейшего развития теории процесса резания приводит к необходимости оценить и проанализировать условия протекания процесса деформации в пластической зоне, к которым, помимо механической схемы деформации и окружающей среды, относятся скорость и температура деформации [1].

Скорость деформации при резании металлов впервые экспериментально была определена при строгании меди на микроскорости [2] и затем в работах [3, 4] при строгании на скоростях до 20 *м/мин*. Методика расчета скорости деформации в зоне резания описана в указанных работах и предусматривает обязательное использование метода делительных сеток или метода нанесения рисок, параллельных направлению движения резца.

Эти исследования показали, что при движении каждого элементарного объема в зоне стружкообразования скорость его деформации, равная нулю на ее нижней границе, вначале медленно, а затем весьма быстро возрастает, достигая максимума в области условной плоскости сдвига, после чего быстро снижается до нуля на верхней границе зоны пластической деформации. При резании [2] на скорости 19 *мм/мин* максимальное значение скорости сдвига оказалось равным $\dot{\gamma} = 1{,}6$ *1/сек*, что соответствует скорости интенсивности деформации $\dot{e}_i = 0{,}925$ *1/сек*. Максимальное значение скорости интенсивности деформации, полученное в работе [4], составило $\dot{e}_i = 1400$ *1/сек*.

Специальная аппаратура и использование метода делительных сеток при исследовании процесса поперечного точения позволили авто-

рам данной статьи провести исследование по определению скорости интенсивности деформации в широком диапазоне изменения параметров процесса резания. Скорость резания изменялась от 5 до 250 *м/мин.*, подача — от 0,1 до 0,39 *мм/об.*, передний угол резца — от +5° до +22°. Исследования выполнены при резании латуни Л62 и сталей ШХ15 и 2Х13.

Скорость интенсивности деформации находилась графическим интегрированием кривой нарастания интенсивности деформации каждого элементарного объема деформируемой зоны по времени. Интенсивность деформации рассчитывалась по искажению делительной сетки [5].

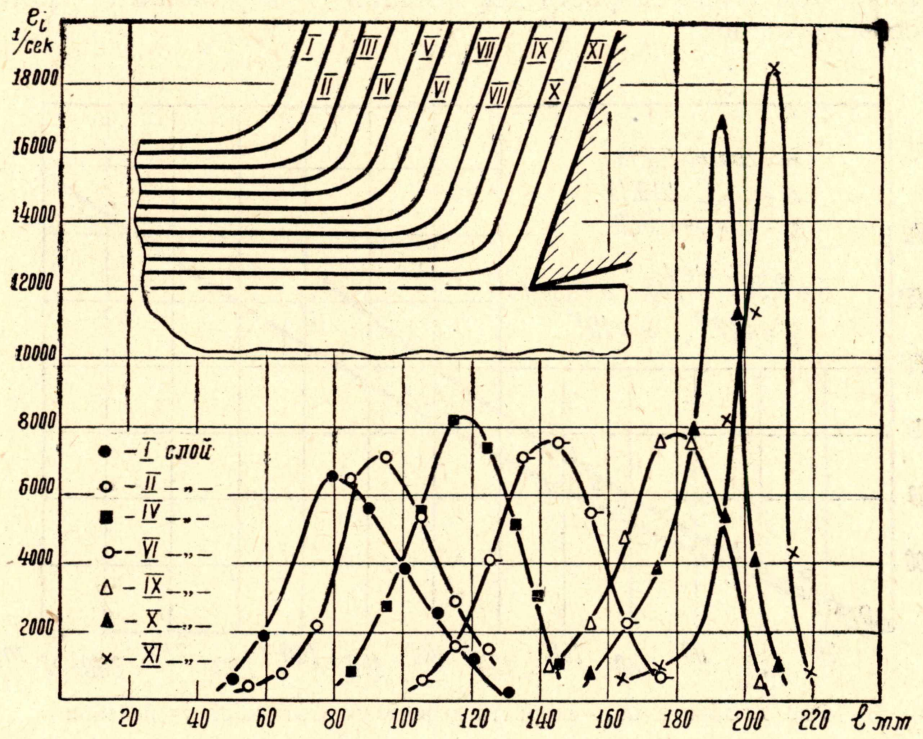

Рис. 1. Характер изменения скорости деформации по пути движения элементарного объема в отдельных слоях срезаемого металла (ШХ15, V=99 *м/мин*, S=0,31 *мм/об*, γ=15°, Т5К10)

Результаты этих исследований показали, что характер кривой изменения скорости деформации по пути движения элементарного объема при резании с большими скоростями остается таким же, как и на малых скоростях (рис. 1). Максимальное значение скорости деформации в наружных и средних слоях стружки (слои I—IX на рис. 1) оказывается приблизительно постоянным. В прирезцовых слоях (слои X—XI на рис. 1) максимальное значение скорости деформации в 2—3 раза больше, чем в средних слоях стружки. Это объясняется несколько уменьшенным путем деформирования элементарного объема в этих слоях и увеличенной в результате вторичной деформации степенью его деформации.

При оценке влияния параметров процесса резания на скорость деформации под скоростью деформации будем понимать среднее значение максимальной интенсивности деформации лишь в наружных и средних слоях стружки.

Увеличение подачи и переднего угла резца при постоянной скорости резания приводит к уменьшению скорости деформации. При этом оказалось, что приблизительно четырехкратное увеличение каждого из этих параметров в указанных выше пределах уменьшало скорость деформации почти в два раза.

Более существенной оказалась зависимость скорости деформации от скорости резания. Как следует из графика, приведенного на рис. 2, скорость деформации возрастает несколько быстрее скорости резания и при резании с высокими скоростями достигает значения $\dot{e}_i = 1{,}9 \cdot 10^4$ $1/сек$. Результаты, приведенные на графике, позволяют также сделать вывод о том, что скорость деформации зависит от механических характеристик обрабатываемого металла. Чем прочнее материал, тем выше скорость деформации при резании с постоянной скоростью резания.

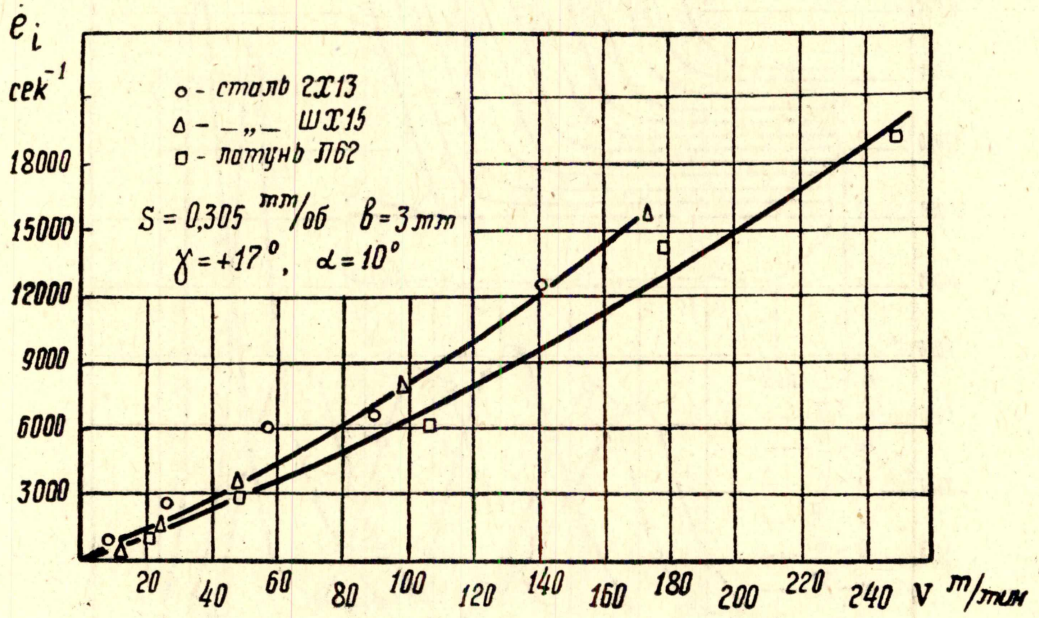

Рис. 2. Зависимость скорости деформации от скорости резания

Температура деформации достаточно надежно может быть определена при резании на микроскорости, когда процесс деформации можно считать изотермическим. В этом случае температура в зоне деформации будет постоянна и равна температуре обрабатываемого образца. При работе с режимами, обеспечивающими контактную температуру выше 600° С (за областью наростообразования), процесс деформации при резании с достаточной степенью точности можно считать адиабатическим. Тогда температура в каждой точке деформируемого объема может быть рассчитана по удельной работе формоизменения:

$$\Theta°C = \frac{1000 \cdot a_V}{427 \cdot \rho \cdot c_\rho} + t_k^0,$$

где

a_V — удельная работа формоизменения, которая может быть рассчитана [6] по формуле:

$$a_V = \frac{\sigma_i \cdot e_i}{k+1} \frac{кг \cdot мм}{мм^3},$$

ρ — плотность обрабатываемого материала, в $г/см^3$;

c_ρ — средняя теплоемкость обрабатываемого материала, в $\frac{кал}{г \cdot °C}$;

$t^0_к$ — температура обрабатываемого изделия и окружающей среды, в °С.

Метод делительных сеток в сочетании с методом определения интенсивности напряжений по твердости [7] позволяет определить величины σ_i и e_i, а следовательно, и a_v в каждой точке пластически деформируемого при резании объема металла.

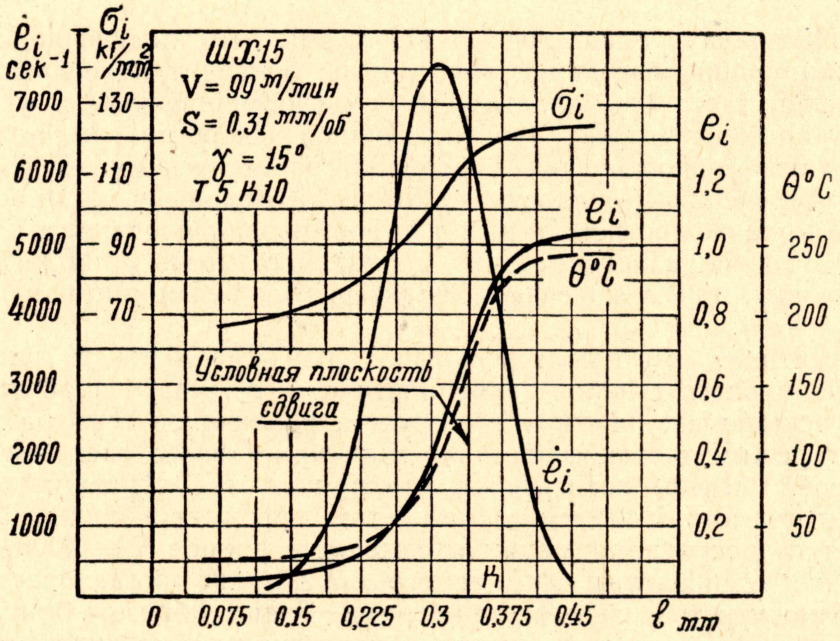

Рис. 3. Изменение интенсивности деформации e_i, скорости интенсивности деформации $\dot{e}_i$, интенсивности напряжения σ_i и температуры Θ°С по пути движения элементарного объема металла в зоне стружкообразования

На рис. 3 приведен график изменения основных параметров процесса, характеризующих условия протекания деформации в каждой точке пути l элементарного объема, расположенного в середине толщины срезаемого слоя, при прохождении его через зону пластической деформации. Каждая из характеристик, представленных на графике: интенсивность деформации e_i, скорость интенсивности деформации $\dot{e}_i$, температура деформации Θ° С, интенсивность напряжений σ_i определены экспериментально в опыте по резанию стали ШХ15 при режиме, указанном на рис. 3.

Анализ графика (рис. 3) позволяет сделать следующие выводы, подтвержденные данными аналогичных графиков, полученных при обработке опытов по резанию как стали ШХ15, так и других металлов при изменении режима резания в пределах, указанных выше, для элементарных объемов металла, расположенных на различных уровнях по толщине снимаемого слоя.

1. При скорости резания 99 *м/мин.* путь элементарного объема металла, на котором он претерпевает основную деформацию в зоне резания, соизмерим с толщиной срезаемого слоя (при подаче $S = 0{,}31$ *мм/об.* основная деформация протекала на пути от $l = 0{,}15$ *мм* до $l = 0{,}45$ *мм*).

Такой же вывод был получен при анализе данных опыта по резанию латуни Л62 на скорости резания 250 *м/мин.*

2. Скорость деформации достигает своего максимального значения в момент, когда деформируемый объем еще не достиг условной плоскости сдвига, положение которой на графике характеризуется точкой «К».

3. Каждая точка, расположенная внутри пластически деформированной зоны, характеризуется своим, присущим только ей сочетанием температуры деформации и скорости деформации. Температурно-скоростные условия деформирования каждого элементарного объема непрерывно меняются при его движении через зону пластической деформации.

4. Поскольку общеизвестно [8, 9, 10], что увеличение скорости деформации при постоянной температуре приводит к увеличению сопротивления материала пластическому деформированию, а увеличение температуры испытания при постоянной скорости деформации — к уменьшению сопротивления материала, пластическому деформированию и увеличению его пластичности, то отмеченное в п. 3 постоянство температурно-скоростного режима деформирования каждого из элементарных объемов в зоне резания должно оказывать влияние на связь как текущих, так и конечных характеристик деформации и напряжения ($\sigma_i - e_i$).

Следствием этого является вывод о неправомерности распространения на процесс резания зависимости $\sigma_i - e_i$, полученной при статических испытаниях на сжатие без учета различия в температурно-скоростных режимах этих сопоставляемых рядом исследователей [11, 12] процессов. Расчеты показывают, что при сжатии образцов высотой в 15 *мм* и диаметром 10 *мм* со скоростью деформирования в 6 *мм/мин.* средняя скорость деформации оказывается равной $\acute{e}_i = 0{,}008$ 1/*сек.*, а изменение температуры сжимаемого образца не улавливается даже достаточно чувствительными приборами. Таким образом, как температура, так и скорость деформации при резании с высокими скоростями может отличаться от таковых при сжатии на десять порядков, что подтверждает справедливость сделанного вывода.

ЛИТЕРАТУРА

1. О. И. Губкин, О. Д. Томленов и др. Основы теории обработки металлов давлением. Машгиз, М., 1969.

2. Г. Л. Куфарев. Экспериментальное определение скорости деформации при резании пластических металлов на микроскоростях. Научные доклады Высшей школы. «Машиностроение и приборостроение», № 1, М., 1958.

3. П. Д. Беспахотный, В. В. Шпаковский. Некоторые вопросы механики труднообрабатываемых материалов. Известия ВУЗов. «Машиностроение», № 2, М., 1967.

4. В. А. Остафьев, С. Кобаяси. Напряжение, деформация и скорость деформации при резании металлов. Экспресс-информация. «Режущие инструменты». № 48, М., 1967.

5. В. А. Говорухин, Г. Л. Куфарев. Расчет деформаций в процессе резания. Известия ТПИ, т. 188, в печати.

6. Г. Л. Куфарев, В. А. Говорухин.. Определение максимального касательного напряжения при резании по характеристикам процесса сжатия. Известия ТПИ, т. 183, Томск, 1966.

7. В. А. Говорухин, Г. Л. Куфарев. О совпадении кривой течения в процессах резания и сжатия. Известия ТПИ, т. 209, в печати.

8. И. Я. Тарновский, А. А. Поздеев и др. Механические свойства стали при горячей обработке давлением. Металлургиздат, М., 1960.

9. Н. П. Агеев, С. И. Каратушин. Механические испытания металлов при высоких температурах и кратковременном нагружении. «Металлургия», М., 1968.

10. Ю. Я. Волошенко-Климовицкий. Динамический предел текучести. «Наука», М., 1965.

11. В. А. Кривоухов, П. Д. Беспахотный. Исследование работы деформации при резании металлов. Известия ВУЗов. «Машиностроение», № 1, М., 1958.

12. В. В. Шпаковский. Исследование процесса деформации при резании труднообрабатываемых материалов. Автореферат диссертации. Типография МАИ, Москва, 1967.