

СКОРОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ
ПЛАСТИЧНОГО МЕТАЛЛА

Г. Л. КУФАРЕВ

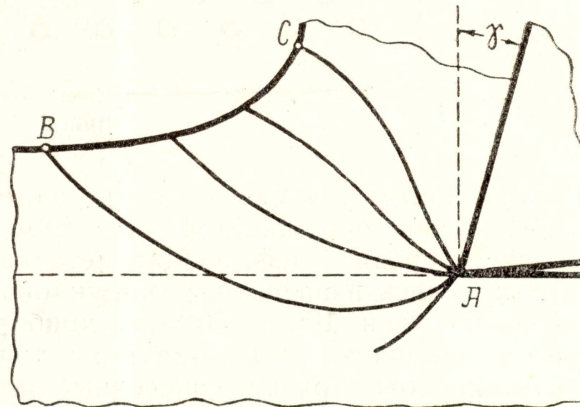
(Представлено профессором доктором А. М. Розенбергом)

В настоящее время мнения по вопросу о влиянии скорости деформации на процесс резания пластичного металла чрезвычайно разнообразны и противоречивы. Наряду с этим, экспериментальная теория пластичности дает ряд определенных указаний на то, каким образом изменяются прочностные характеристики металлов при различной скорости их деформирования. Для того, чтобы распространить экспериментальные выводы теории пластичности на процесс резания, необходимо знать действительные скорости деформации металла в этом процессе.

В. Д. Кузнецов [1] показал, что из всех существующих методов оценки скорости деформации наиболее правильным является тот, который оценивает ее скоростью увеличения истинной относительной деформации (относительного сдвига). Если известна зависимость относительного сдвига (γ_k) от времени, то скорость деформации определится следующим образом:

$$v_g = \frac{d\gamma_k}{dt}.$$

Деформация пластичного металла при образовании сливной стружки идет путем последовательных сдвигов по криволинейным поверхностям (фиг. 1), охватывающим определенный объем ABC. Каждый



Фиг. 1

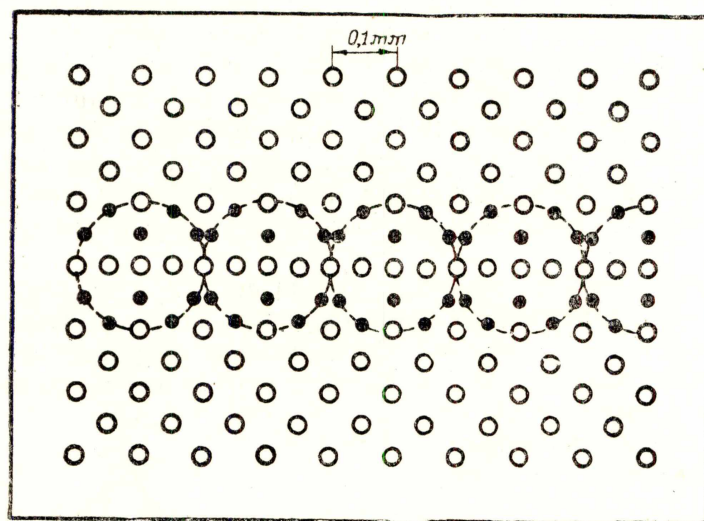
элементарный объем снимаемого слоя металла начинает пластически деформироваться на поверхности АВ, касательные напряжения на которой равны пределу текучести на сдвиг исходного обрабатываемого материала. При дальнейшем движении в зоне ABC степень деформации нарастает и достигает максимума (соответствующего деформации металла стружки) на некоторой поверхности АС.

Следовательно, для того, чтобы определить скорость деформации в процессе резания, необходимо знать характер нарастания относитель-

ного сдвига по времени или пути движения частицы металла в зоне АВС. Иначе говоря, необходимо знать степень деформации металла в любой точке зоны АВС. Точный математический расчет оказывается в данном случае бессильным ввиду чрезвычайной сложности процесса. Экспериментальные же работы, проведенные в этом направлении как советскими, так и зарубежными исследователями, позволяют судить о характере происходящей здесь деформации лишь качественно и далеко неполно.

Наши опыты были поставлены с целью получения наиболее полной картины деформации, имеющей место при резании пластичных металлов.

Резание осуществлялось путем свободного строгания медных образцов с постоянной скоростью $v = 19$ мм/мин резцами с передними углами $\gamma = 17^\circ$, 27° и 37° . Образец состоял из двух пластин размером $50 \times 35 \times 3$ мм, притертых друг к другу большими плоскостями. На внутренней стороне одной из пластин наносилась система малых окружностей (фиг. 2), диаметр которых равнялся 0,03 мм. Черными точками на фиг. 2 обозначены малые окружности диаметром 0,015 мм,

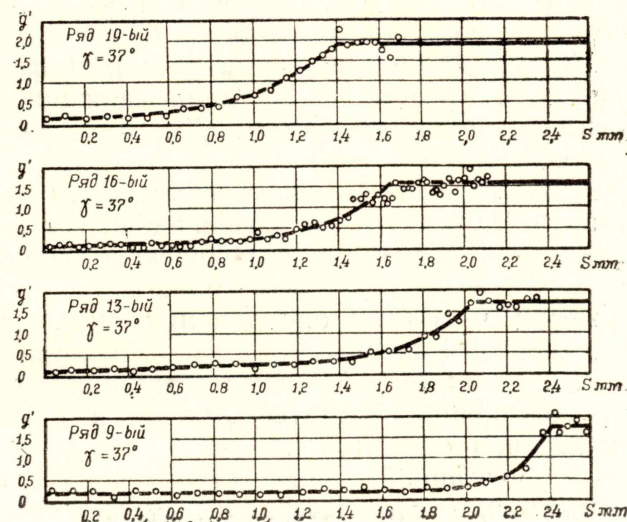


Фиг. 2

расположенные в свою очередь на окружности диаметром 0,2 мм. По искажению окружностей диаметром 0,2 мм можно было судить о величине средней деформации металла в стружке. Малые окружности получались вдавливанием корундовой иглы под действием статической нагрузки 100 и 50 г на приборе ПМТ-3. Полученные, таким образом, отпечатки деформируются точно так же, как деформировались бы круговые риски, нанесенные на поверхность. Это подтверждается тем, что деформация в стружке, рассчитанная по искажению круговых отпечатков, совпадает со средней деформацией, рассчитанной по искажению больших окружностей. Образец зажимался в тисы таким образом, чтобы направление рядов окружностей было бы параллельно движению резца. После этого поверхность образца выравнивалась путем снятия чрезвычайно тонких стружек. Толщина среза в процессе опыта выбиралась такой, при снятии которой образовывалась чисто сливная стружка. Резание осуществлялось до того момента, когда часть материала с нанесенной сеткой окружностей претерпевала конечную деформацию. После этого процесс останавливался. Для того, чтобы к моменту остановки резца процесс резания окончательно-

но установился, сетка окружностей наносилась на расстоянии 20 мм от края образца по его длине.

Полученные корни стружки фотографировались и зарисовывались под микроскопом координатным способом при точности измерения 0,005 мм. Такие зарисовки деформированной сетки окружностей для случаев работы с передними углами резца $\gamma = 27^\circ$ и 37° приведены на фиг. 1 и 2 в статье „Расчет величины относительного сдвига при резании металлов“, помещенной в ланном сборнике. Крестиками на этих



Фиг. 3

фигурах обозначены центры малых круговых отпечатков. Деформация в пластически деформируемой зоне оценивалась по искажению круговых отпечатков, которые в силу малого размера близки к эллипсам, несмотря на то, что в данном случае имеет место неравномерность деформации по толщине среза. Большая полуось этих эллипсов замерялась под микроскопом при увеличении в 500 раз. Псевдомаксимальный относительный сдвиг рассчитывался по формуле

$$g' = 2 e_1 = 2 \ln \frac{2a}{d},$$

где e_1 —главная деформация в направлении большой полуоси эллипса, a —величина большой полуоси эллипса,

d —исходный диаметр кругового отпечатка ($d = 0,03$ мм).

На фиг. 3 приведена картина нарастания относительного сдвига некоторых элементарных объемов металла, расположенных на уровнях 19, 16, 13 и 9 рядов отпечатков ($\gamma = 37^\circ$), по пути их движения s в процессе деформации. Величина пути для построения данных графиков определялась непосредственным измерением на рисунке корня стружки. Несколько завышенные значения конечного относительного сдвига в верхнем и нижнем слоях стружки, наблюдаемые на графиках, объясняются некоторым наклепом от предыдущего прохода резца и вторичной деформацией металла, прилегающего к передней грани резца.

Знание характера нарастания относительного сдвига по пути перемещения в процессе деформации позволяет при известной скорости резания (в данном случае $v = 19$ мм/мин) рассчитать величину скорос-

ти деформации в любой точке деформируемого объема. Для этого представим выражение для скорости деформации в следующем виде:

$$v_g = \frac{d\gamma_k}{dt} = \frac{d\gamma_k}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = v_{g'} \cdot v_i.$$

Здесь $v_{g'}$ —скорость изменения относительного сдвига по пути движения элементарного деформируемого объема,

v_i —скорость движения элементарного деформируемого объема.

Таким образом, для расчета скорости деформации при резании необходимо знать две зависимости: относительный сдвиг—путь деформации ($\gamma_k—s$) и путь деформации—время ($s—t$). Дифференцируя первую из них по пути, а вторую по времени движения в деформируемой зоне, получим значение скоростей $v_{g'}$ и v_i , а значит и скорости деформации $v_g = v_{g'} \cdot v_i$.

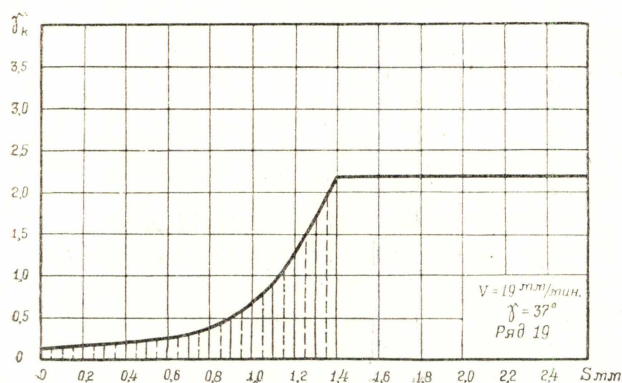
Для проведенных опытов оказалось возможным найти интересующие нас зависимости $\gamma_k—s$ и $s—t$ графически, а потому и скорости $v_{g'}$ и v_i определялись путем их графического дифференцирования методом хорд.

Проиллюстрируем методику определения скорости деформации, вычисляя последнюю для частицы металла, расположенной на уровне 19 ряда круговых отпечатков при снятии стружки резцом, имеющим передний угол $\gamma = 37^\circ$ (фиг. 2 в статье „Расчет величины относительного сдвига при резании металлов“).

По методике, указанной выше, строится график зависимости $g'—s$ (фиг. 3). Пользуясь этим графиком, строим зависимость $\gamma_k—s$ (фиг. 4), причем максимальный относительный сдвиг определяется по формуле [2]:

$$\gamma_k = 2 sh \frac{g'}{2}.$$

Зная скорость резания ($v = 19 \text{ мм/мин}$) и расстояния между двумя любыми отпечатками 19-го ряда окружностей, строим график пути деформируемого элементарного объема (фиг. 5). Графически дифференцируя зависимости, изображенные на фиг. 4 и 5, получаем значения скоростей $v_{g'}$ и v_i для любого участка пути деформации. Произведение этих скоростей определяет величину скорости деформации.



Фиг. 4

На фиг. 6 изображены графики изменения скорости деформации в зависимости от пути деформируемых объемов, расположенных на уровне 19 и 9 рядов отпечатков ($\gamma = 37^\circ$). Анализ этих графиков позволяет сделать следующие выводы:

1. Скорость деформации при резании пластичного металла в различных точках деформируемой зоны непостоянна.

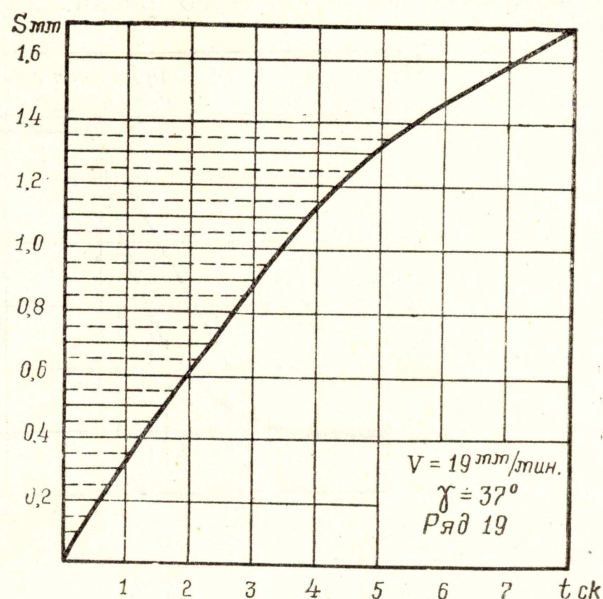
2. Скорость деформации по пути движения деформируемого элементарного объема сначала растет, достигая некоторого максимума, а затем быстро снижается до нуля.

3. Слои стружки, прилегающие к резцу, деформируются с гораздо большими скоростями, нежели ее наружные слои.

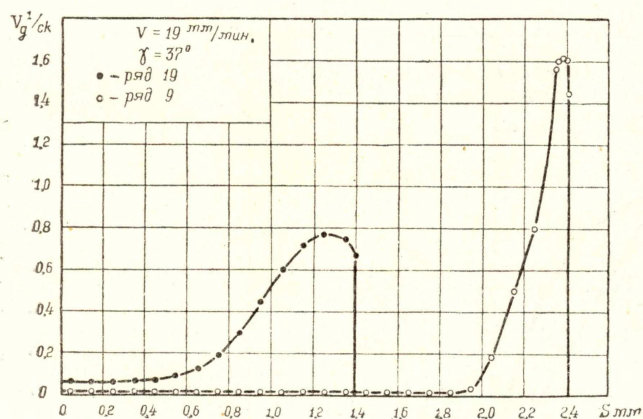
4. При резании меди со скоростью $v = 19 \text{ мм/мин}$ резцом с $\gamma = 37^\circ$ максимальная скорость деформации оказалась равной $v_g = 1,6^1/\text{сек}$

При резании с большими скоростями картина деформации становится несколько иной. На фиг. 7 приведена фотография корня стружки, полученной при свободном резании медного образца резцом с $\gamma = 37^\circ$ при скорости $v = 234 \text{ м/мин}$. Риски, нанесенные на поверхность образца по архимедовой спирали с шагом $0,1 \text{ мм}$, позволяют оценить величину зоны основной пластической деформации. Как следует из фотографии, зона

на одновременной деформации оказывается в данном случае значительно меньшей, явление так называемого „наплыва“ металла над обрабатываемой поверхностью почти отсутствует.



Фиг. 5



Фиг. 6

стружке на фиг. 7 $\gamma_k = 1,15$), а также скорость резания ($v = 234 \text{ м/мин}$) можно приблизительно оценить величину скорости деформации и в данном случае.

Подсчитаем величину скорости деформации для процесса образования стружки, изображенной на фиг. 7.

На фиг. 8 представлен предположительный график нарастания сдвига по пути перемещения. Здесь путь основной деформации ($s_g = 0,13 \text{ мм}$) определен непосредственно по фотографии, величина конечного сдвига подсчитана по усадке стружки:

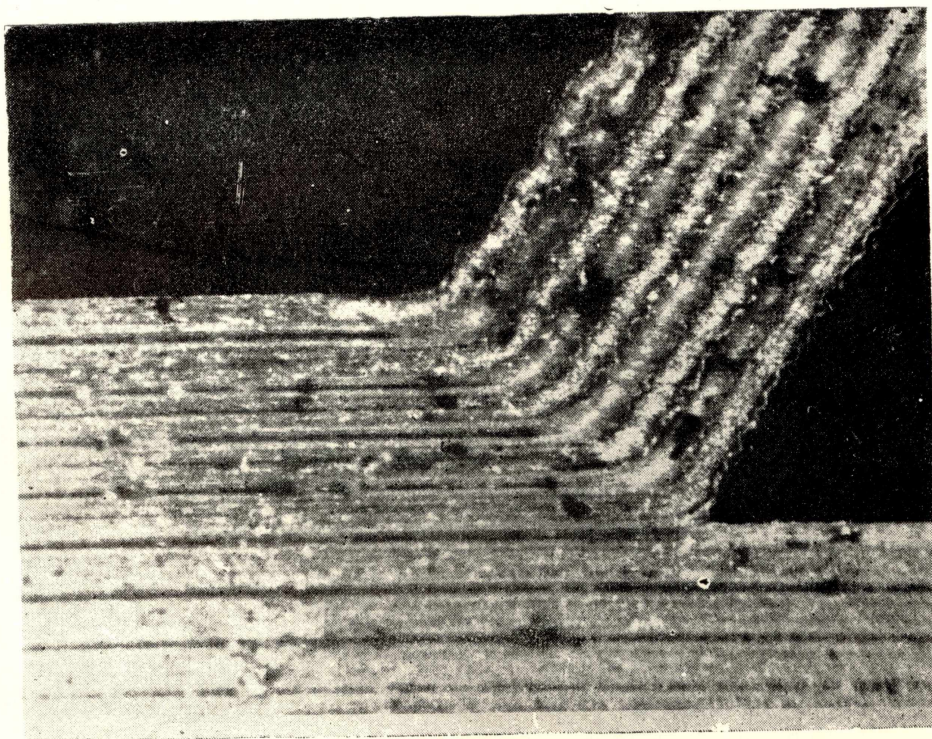
$$\gamma_k = \text{ctg } \beta_1 + \text{tg } (\beta_1 - \gamma),$$

$$\text{tg } \beta_1 = \frac{\cos \gamma}{\zeta - \sin \gamma},$$

где ζ —усадка стружки.

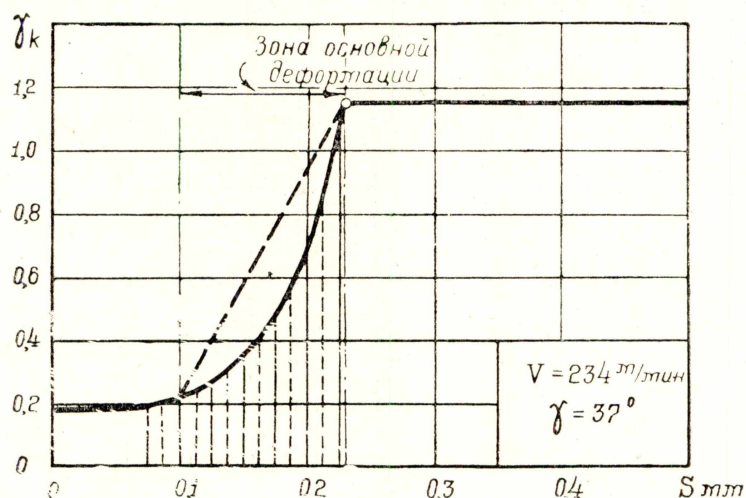
По причине малых размеров деформируемой зоны ($0,1 \text{ мм}$) описанная выше методика для определения скорости деформации оказывается непригодной—не удастся достаточно точно выявить картину нарастания деформации в столь узкой зоне. Однако зная характер нарастания деформации по опытам с малой скоростью резания, конечную степень деформации (в приложении к

Научно-техническая
библиотека ТИИ
№ _____



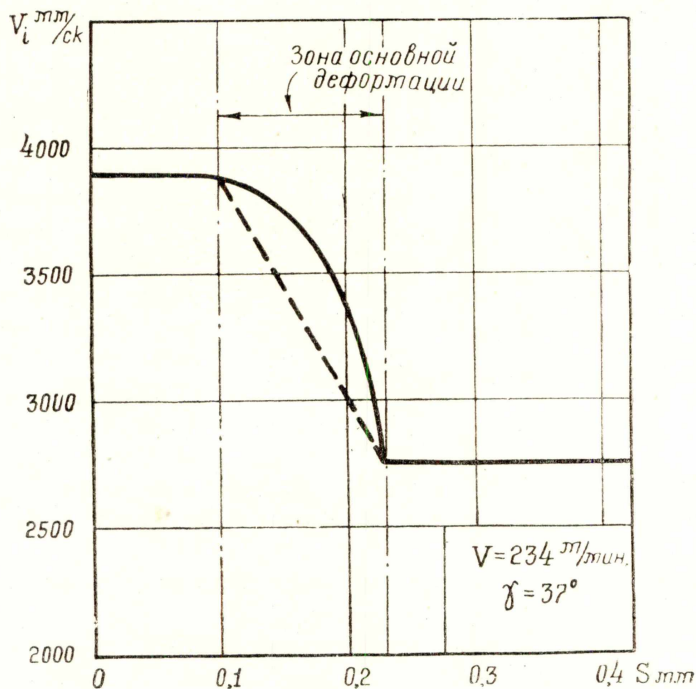
Фиг. 7

Начальная степень деформации принята равной 0,18, ибо, как показали предыдущие опыты, столь малая деформация не может быть обнаружена по искажению риски. Пунктиром на фиг. 8 изображен



Фиг. 8

случай, когда деформация по пути движения деформируемого элементарного объема нарастает равномерно. Скорость v_g' определялась графическим дифференцированием графика, изображенного на фиг. 8. При условии равномерного нарастания деформации по пути движения резца скорость v_g' оказалась равной 7,45 1/мм.



Фиг. 9

На фиг. 9 сплошной линией показан предполагаемый график изменения скорости деформируемого объема по пути его движения, а пунктирной линией изображен этот же график для случая, когда движение деформируемого элементарного объема является равнозамедленным. На этом графике начальная скорость равна скорости резания,

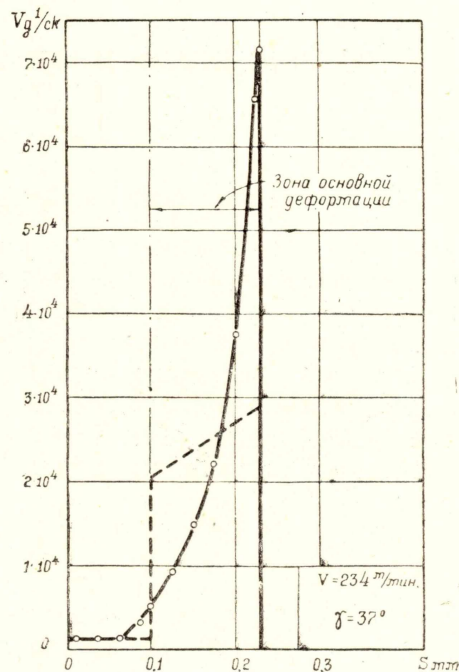
а конечная—скорости движения стружки по передней грани резца, которая может быть легко определена при известной усадке стружки (ζ)

$$v_{стр} = \frac{v}{\zeta},$$

где v —скорость резания.

Скорость деформации по-прежнему определится произведением скоростей v_g' и v_i .

На фиг. 10 представлен, полученный таким расчетом, график скорости деформации по пути перемещения элементарного деформируемого объема. Здесь сплошная линия иллюстрирует нарастание скорости деформации в случае, если законы изменения величины относительного сдвига и скорости движения элементарного объема в деформируемой зоне, полученные при малых скоростях, остаются справедливыми и при больших скоростях резания. Пунктирная же линия характеризует изменение скорости деформации в идеализированном случае, когда степень деформации в интересующей нас зоне нарастает равномерно, а деформируемый объем движется равнозамедленно. Как следует из фиг. 10, даже при этих идеальных условиях, обеспечивающих минимальное значение скорости деформации, величина ее для рассмотренного примера достигает значения $2,9 \cdot 10^4$ 1/сек. При более реальных условиях деформирования, принятых нами предположительно, максимальное значение скорости деформации оказалось равным $7,15 \cdot 10^4$ 1/сек.



Фиг. 10

Проведенный расчет, а также результаты опытов на малой скорости резания позволяют сделать следующие выводы.

1. Оценивая допущения, принятые в расчете, можно утверждать, что величина скорости деформации в процессе образования стружки, изображенной на фиг. 7, достигает, по меньшей мере, значений порядка $5 \cdot 10^4$ 1/сек и не может быть ниже значения, полученного для идеализированных условий деформирования ($2,9 \cdot 10^4$ 1/сек).

2. При изменении скорости резания в 12,3 тыс. раз (от 19 мм/мин до 234 м/мин) скорость деформации возрастает в 45—90 тыс. раз. Таким образом, скорость деформации растет с увеличением скорости резания существенно быстрее последней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов В. Д. Физика твердого тела, том V, Томск, 1951.
2. Осипов В. Г. О характеристиках конечных деформаций. Сб. Проблемы металлургии, АН СССР, 1958.