

**Н.Е. Чигодаев**

Пермский государственный технический университет

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЖАТИЯ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЭЛЕМЕНТА СТРУЖКИ**

Описывается процесс формирования элемента стружки, образующегося в процессе сжатия срезаемого слоя.

Процесс образования поверхности на изготавливаемой детали представляет собой процесс глубокой пластической деформации срезаемого с поверхности заготовки слоя материала [1]. В результате такой деформации срезаемый слой превращается в стружку и удаляется из зоны резания по передней поверхности инструмента. Превращение срезаемого слоя в стружку и изменение направления его движения происходит в зоне стружкообразования, расположенной между срезаемым слоем и окончательно сформированной стружкой. В этой зоне, имеющей в сечении форму криволинейного треугольника, материал срезаемого слоя, пластически деформируясь, трансформируется в стружку.

Преобразование срезаемого слоя в стружку обусловлено взаимодействием участников процесса резания – обрабатываемой заготовки, инструмента и находящейся в контакте с инструментом стружки. Каждый из участников процесса вносит определенную долю в величину пластической деформации материала срезаемого слоя. При этом, если роль и значение первых двух участников процесса – обрабатываемой заготовки и инструмента – в процессе образования стружки не вызывает сомнения, то роль тела стружки, контактирующей с передней поверхностью инструмента, в процессах, происходящих в зоне стружкообразования, далеко не так однозначна и требует дальнейшего изучения.

Срезаемый слой деформируется, прежде всего, от воздействия инструмента, которое происходит при взаимном относительном движении срезаемого слоя и инструмента. Тело стружки, находящейся в контакте с инструментом и испытывающей изгибающие деформации от контакта с передней поверхностью инструмента, затрудняет процесс деформации срезаемого слоя. Взаимодействие трех участников процесса образования стружки создает особые условия в зоне стружкообразования, в которых протекает пластическая деформация срезаемого слоя.

Эти условия обусловлены сжимающими напряжениями, возникающими в срезаемом слое под воздействием инструмента и тела стружки. Суммарный результат такого воздействия – форма и размеры зоны стружкообразования, в которой происходят основные пластические деформации срезаемого слоя. Изменение технологических условий резания – размеров сечения срезаемого слоя, скорости резания, свойств материала обрабатываемой заготовки и других параметров взаимодействия инструмента и заготовки – приводит к изменению формы и размеров зоны пластических деформаций, но при этом не изменяется само воздействие участников процесса образования стружки на срезаемый слой – оно остается сжимающим.

В таких условиях напряжения и деформации в срезаемом слое распределяются крайне неравномерно – наибольшую величину они имеют у передней поверхности инструмента и в зоне стружкообразования. Неравномерность напряжений и деформаций и вызывает пластические деформации в ограниченной области – в зоне стружкообразования. Результатом процессов, происходящих в этой зоне, является стружка с размерами, отличающимися от размеров срезанного слоя. Очевидно, механизм пластической деформации, формирующий стружку, обусловлен сжатием срезаемого слоя.

Как и любая другая пластическая деформация, деформация сжатия имеет сдвиговую природу. Процесс сдвига, как известно [4], может осуществляться по различным схемам – начиная от схем чистого и простого сдвига до схем сдвига, осложненных либо сжатием, либо растяжением.

Во многих работах, посвященных изучению механизма стружкообразования при резании, считается, что при пластической деформации срезаемого слоя действует механизм простого сдвига [1, 2, 3]. При этом не учитывается причина пластической деформации – сжатие срезаемого слоя. «Процесс резания является не процессом сжатия, как обычно считают, а процессом простого сдвига, протекающего в направлении плоскости максимальных касательных напряжений» [2]. В других работах оговаривается действие сжимающих деформаций в процессе образования стружки, но как дополнительная деформация, приводящая к завиванию стружки. «Этот слой всегда с большей или меньшей интенсивностью подвергается неравномерному сжатию в направлении, перпендикулярном к передней поверхности лезвия» [3]. Авторы третьих работ указывают, что «для правильного понимания и оценки деформации простого сдвига, прежде всего, следует четко представить, что процесс простого сдвига «следовало бы назвать «сложным сдвигом», поскольку он является случаем сложного нагружения...» [4], не раскрывая при этом механизм сложного нагружения элемента материала, подвергаемого сдвигу.

Таким образом, сжатие срезаемого слоя, как первопричина пластической деформации, практически не рассматривается. Вместе с тем до середины про-

шлого века существовала и другая точка зрения на процессы, приводящие к образованию стружки. Как указывают авторы работы [4], эта точка зрения базируется на понимании того, «что процесс резания можно рассматривать как процесс последовательного пластического сжатия элементов стружки». В некоторых работах отмечалось действие деформации сжатия в два этапа – на первом происходит сжатие элемента стружки, на втором – его сдвиг.

Такое разногласие в подходах к пониманию процессов, приводящих к образованию стружки, говорит о том, что эти процессы нуждаются в дополнительном изучении с учетом деформаций сжатия срезаемого слоя. И прежде всего, в необходимости изучения процесса деформирования срезаемого слоя, в ходе которого он сжимается и пластически деформируется.

Стружка образуется путем последовательного формирования элементов, из которых она состоит. Элементы стружки могут быть прочно соединены друг с другом, как, например, в суставчатой и сливной стружках, либо соединение между ними может быть недостаточно прочным, как в элементных стружках [3]. При этом границы между ними могут быть явными, как в суставчатой и элементной стружках, так и неявными, как в сливной стружке, представляющей собой сплошную ленту. Строение стружки позволяет сосредоточить внимание при изучении механизма деформирования срезаемого слоя на процессе формирования отдельного элемента.

В реальном процессе резания образование элементов стружки происходит последовательно, с определенной периодичностью. При этом невозможно отделить конец формирования одного элемента стружки от начала образования другого – эти процессы идут параллельно. Зафиксировать процесс формирования одного элемента стружки в таких условиях не представляется возможным. Между тем проследить за процессами, происходящими при формировании элемента стружки, необходимо для выяснения механизма деформирования срезаемого слоя. Это возможно на физической модели процесса резания, адекватно воспроизводящей процесс образования элемента стружки. Разработке модели и экспериментальному изучению процесса сжатия срезаемого слоя при получении одного элемента стружки и посвящена данная работа.

При разработке модели формирования элемента стружки учитывалось основное требование к модели: она должна иметь все признаки реального резания – обрабатываемый материал, инструмент и параметры процесса обработки – глубину резания, подачу и скорость резания. Отличием модели от реального резания должен быть результат процесса – стружка должна представлять собой только один элемент, получаемый в результате взаимного перемещения срезаемого слоя и инструмента.

Такой элемент стружки можно получить только в том случае, если инструмент и формирующийся элемент стружки перемещаются вместе, без перемещения друг относительно друга. Для этого инструмент должен иметь возможность перемещаться в направлении перемещения стружки по передней поверхности инструмента. Схема разработанной модели процесса резания и образования элемента стружки показана на рис. 1.

Модель представляет собой устройство, состоящее из резцовой тележки 3 с закрепленным на ней резцом 2, контактирующим с деформируемым образцом 1, из которого получается элемент стружки. Резцовая тележка установлена на шарикоподшипниках 4, свободно перекатывающих на закаленных направляющих 5.

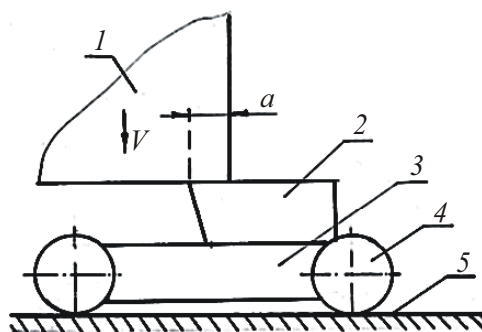


Рис. 1. Схема модели процесса резания

Расположение резца на подшипниках позволяет, с одной стороны, обеспечить минимальное сопротивление перемещению резца, с другой – обеспечить перемещение совместно с формируемым элементом стружки.

Модель реализована на модернизированном токарно-винторезном станке 1К62. Устройство в виде кронштейна с закаленными направляющими закреплялось на станке вместо резцедержателя. Резцовая тележка устанавливалась на кронштейн и выставлялась по оси центров станка. Резец, изготовленный из стали Р6М5, имел нулевой передний угол и задний угол  $8^\circ$ . Режущая кромка длиной 10 мм параллельна оси центров станка.

Образцами из стали 40Х и дюрэли Д16 служили диски с радиальными пазами, диаметром 80–100 мм и толщиной 1–5 мм, закрепляемыми на оправке, зажатой в трехлачковом патроне и поджатой задним центром станка.

Радиальные пазы в дисковых образцах позволяли устанавливать необходимую толщину сечения срезаемого слоя путем перемещения резцовой тележки относительно наружной поверхности образца на величину  $a$ . Второй размер сечения – ширину  $b$  – определяла толщина диска. Таким образом, в ходе экспериментов размеры сечения срезаемого слоя, из которого образу-

ется элемент стружки, изменялись в следующем диапазоне – от  $0,2 \times 1,0$  до  $0,8 \times 5,0$  мм.

Для исключения влияния температурно-скоростного фактора на процесс образования стружки скорость деформирования срезаемого слоя – скорость резания – в экспериментах составляла  $V = 0,7$  м/мин.

Наблюдения за процессом деформирования срезаемого слоя в ходе выполнения экспериментов показали, что во всех опытах формирование элемента стружки происходит по схеме, показанной на рис. 2. Предполагалось, что формирование элемента стружки будет происходить в области срезаемого слоя, ограниченной треугольником  $ABC$  (рис. 2, а). Эксперименты показали, что пластически деформируется область больших размеров. При перемещении образца со скоростью  $V$  в срезаемом слое толщиной  $a$  возникают напряжения сжатия, в результате действия которых происходит изменение размеров деформируемой области: она укорачивается – и одновременно увеличивается размер  $AB$ . Вместе с тем эти изменения размеров незначительны, поскольку определяются упругими деформациями сжатия.

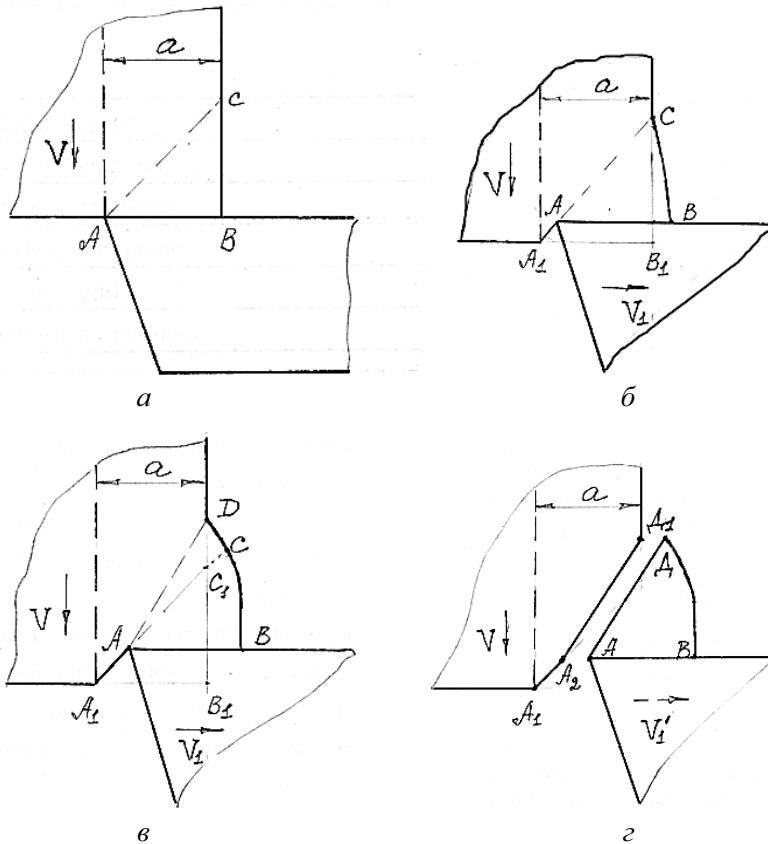


Рис. 2. Схема формирования элемента стружки

Ощутимые деформации появляются в тот момент, когда в срезанном слое произойдет пластическая деформация, вызывающая перемещение подошвы  $AB$  образующегося элемента стружки по поверхности  $AC$  на некоторую величину  $AA_1$  (рис. 2, б). Деформационное перемещение по образующейся поверхности сдвига  $AC$  сопровождается смещением резцовой тележки в перпендикулярном к направлению деформирования срезанного слоя направлении. Пластическая деформация охватывает незначительную часть будущего элемента стружки, расположенную у передней поверхности резца.

По мере дальнейшего перемещения образца относительно резцовой тележки пластически деформированный объем увеличивается и занимает всю область  $ABC$ . Высота этой области из-за пластической деформации уменьшается, одновременно изменяется форма элемента стружки – из прямоугольного он превращается в криволинейный треугольник.

Затем пластические деформации распространяются за линию пластических сдвигов и охватывают область материала срезанного слоя перед линией  $AC$ . Этот процесс продолжается до тех пор, пока не сформируется поверхность  $AD$  (рис. 2, в), по которой происходит скол образовавшегося элемента стружки (рис. 2, г). Отколовшийся элемент стружки совместно с резцовой тележкой перемещается по направляющим со скоростью  $v_1'$ .

Таким образом, формирование элемента стружки происходит по мере перемещения резца относительно срезанного слоя. Это перемещение сопровождается сжатием материала срезанного слоя. Сжатие вызывает смещение образуемого элемента стружки по поверхности сдвига, располагающейся под углом к направлению деформирования срезанного слоя. Перемещение элемента стружки по поверхности сдвига вызывает увеличение пластически деформированного объема срезанного слоя, при этом пластически деформируется материал не только в пределах треугольника  $ABC$ , но и находящийся за линией  $AC$ . Этот процесс продолжается до тех пор, пока не сформируется поверхность  $AD$ , по которой и происходит скол уже сформированного элемента стружки.

Таким образом, изучение процесса деформирования срезанного слоя показало:

1. Процесс формирования элемента стружки в условиях эксперимента является процессом сжатия срезанного слоя.

2. Сжатие занимает определенный период времени, в течение которого пластически деформируется материал срезанного слоя сначала у передней поверхности резца, а затем деформация постепенно распространяется на весь объем будущего элемента стружки.

3. Пластическая деформация при формировании элемента стружки сопровождается образованием поверхности сдвига, которая располагается под определенным углом к направлению перемещения срезаемого слоя.

4. Формирование элемента стружки происходит путем его сжатия при перемещении по поверхности сдвига.

5. Смещение по поверхности сдвига образующегося элемента стружки продолжается до момента скалывания, после которого он отделяется от срезаемого слоя.

6. Поверхность скола повернута относительно поверхности сдвига на определенный угол.

7. Появление поверхности скола при формировании элемента стружки вызвано деформацией сжатия материала срезаемого слоя, находящегося перед поверхностью сдвига.

### **Список литературы**

1. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания / под ред. П.Р. Родина; АН УССР. Ин-т сверхтвердых материалов. – Киев: Наукова думка, 1990. – 320 с.

2. Розенберг А.М., Еремин А.Н. Элементы теории процесса резания материалов. – М.: Машгиз, 1956. – 316 с.

3. Ящерицин П.И., Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А. Теория резания: учебник. – Минск: Новое знание, 2005. – 512 с.

4. Куфарев Г.Л., Окенов К.Б., Говорухин В.А. Стружкообразование и качество обработанной поверхности при несвободном резании. – Фрунзе: Мектеп, 1970. – 172 с.

Получено 5.05.2010