

К ВОПРОСУ О СТРУКТУРЕ ЗОНЫ РЕЗАНИЯ

Швец С.В.

Широкая компьютеризация промышленности породила надежду, что быстродействие машин, их способность оперировать большим числом факторов позволит технологам, не заботясь об исследованиях, добиваться хороших результатов при обработке металлов. Однако машины только освоили весь накопленный научный потенциал, оптимизировали все процессы при помощи существующих математических моделей, не создав ничего нового. А.В.Мухин теоретически показал [1], что создать уникальную технологию и совершенствовать обычную может только человек. Рождением уникальных и совершенствованием обычных технологий можно управлять только лишь через изменение творческого потенциала социально-технической среды. А носителем этого потенциала, из-за отсутствия искусственного интеллекта, является

человек. Проектирование же обычной технологии можно автоматизировать, передав рутинные операции машине. Поэтому важнейшей задачей для практики обработки резанием является изучение физических основ этого процесса.

Полученная расчетным путем динамика развития напряженно-деформированного состояния в зоне резания [2] позволяет по-новому подойти к некоторым устоявшимся понятиям теории резания, таким, как плоскость и угол скалывания, первичная и вторичная зоны стружкообразования, нарост при резании.

Очевидно, что нельзя говорить о развитии и формировании напряжений по плоскости скалывания. В зоне резания в течение цикла стружкообразования происходит перераспределение напряжений. И если цикл стружкообразования завершается разрушением, то, следовательно, напряжения в какой-то области (где произошло разрушение) так сконцентрировались и достигли такой величины, что это разрушение стало неизбежным.

Чтобы не отходить от принятой в теории резания терминологии, поверхность, по которой происходит разрушение, может с некоторой погрешностью быть представлена как плоскость и названа плоскостью скалывания. Фактически плоскость скалывания существует и занимает определенное пространственное положение только в конце цикла стружкообразования, в момент разрушения (скалывания). Изменение касательных напряжений по направлению будущего разрушения (скалывания, сдвига) можно проследить при пошаговом нагружении системы резания, рис.1. При образовании плоскости скалывания уровень касательных напряжений (кривая 5) и последовательность его формирования (кривые 1-4) соответствуют условиям образования "пластического шарнира". Плоскости скалывания при резании может вообще не быть, если напряжения сформируются таким образом, что разрушение в конце цикла произойдет только по поверхности раздела припуска и заготовки. Таким образом, плоскость скалывания это не статическое понятие. Его следует понимать как факт завершения определенным образом цикла стружкообразования, один из возможных результатов взаимодействия элементов системы резания.

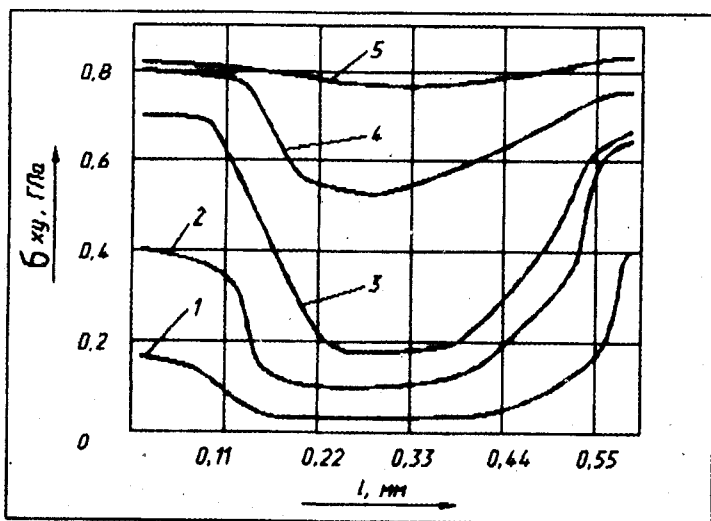


Рис. 1. Динамика формирования касательных напряжений по направлению "плоскости скалывания"

Теряют смысл понятия "первичная" и "вторичная" зоны стружкообразования. При таком определении кажется, что металл

деформируется один раз в первичной зоне, а затем - еще раз во вторичной. На самом же деле происходит одновременное динамическое деформирование всех элементов системы резания. И только благодаря специально подобранным физико-механическим характеристикам лезвия достигается разрушение именно в обрабатываемом материале. Понятие первичной и вторичной зон деформации появилось потому, что нарушена причинно-следственная связь при анализе процесса резания. Рассматривается движение микрообъема металла в сторону лезвия и его скорость, на основании чего делается вывод о силах (напряжениях), воздействующих на этот объем на всем пути движения. На самом же деле не движение частицы металла является причиной формирования напряжений, а силовая нагрузка от лезвия, которая перераспределяется неравномерным образом в обрабатываемом материале, и уже силы в материальных точках (напряжения) вызывают их перемещения. В результате каждая точка материала движется не по плавной траектории в сторону лезвия и вдоль его поверхностей, а перемещается в пространстве по изменяющейся траектории под действием сил со стороны соседних точек. Направление и величина этих сил обуславливаются величиной и способом приложения сил со стороны лезвия, форморазмерами элементов системы резания и физико-механическим состоянием материала в окрестности каждой из его материальных точек. Причем физико-механические характеристики материала в каждой точке определяются предысторией нагружения в

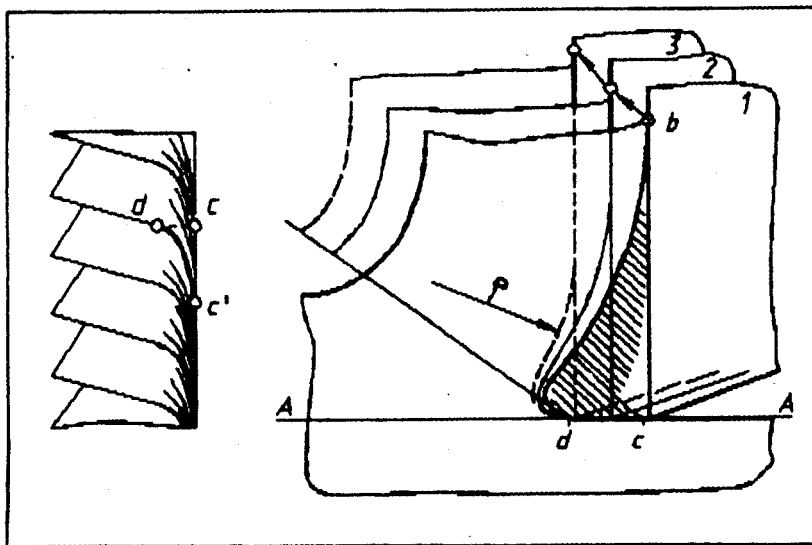


Рис. 2. Изменение формы и размеров пластической области у вершины лезвия

цикле стружкообразования. Поэтому, если силовой поток направлен от лезвия, то и механическая энергия, поступающая в зону резания, в первую очередь, воздействует на слой металла, прилежащие к передней поверхности. Условия взаимодействия элементов системы резания, их форморазмеры влияют на форму зоны распространения этой энергии вглубь металла. Однако это единый развивающийся процесс, и зона образования повышенных касательных напряжений включает в себя и область, примыкающую к передней поверхности лезвия.

При образовании плоскости скалывания начинается движение стружки по этой поверхности. Причем разрушение происходит не с полным отделением, а находящаяся под давлением со стороны передней поверхности стружка с усилием прижата к образовавшейся поверхности и движется, преодолевая образующиеся очаги схватывания. Во время

движения стружки по плоскости скалывания снижается сопротивление металла внедрению в него лезвия, и поэтому падают напряжения в пластической области у вершины, и снижаются ее размеры.

При переходе за время движения стружки по плоскости скалывания лезвия из положения 1 в положение 3 (рис. 2) точка на траектории касательного напряжения перед вершиной лезвия по отношению к лезвию приближается, а по отношению к заготовке может передвигаться в направлении движения лезвия или в противоположную сторону, оставаться неподвижной. Если при этом радиус кривизны R поверхности, по которой скользит стружка, уменьшается, то происходит процесс стружкозавивания. По отношению к образовавшемуся элементу стружки граница напряжений движется вправо, что приводит к заполнению впадины пыли стружки на прирезцовой стороне. Элемент получает трапециевидную форму и сглаженную поверхность.

При дальнейшем движении лезвия в результате деформации объема металла, расположенного ниже поверхности скалывания, плоскость скалывания перемещается вверх и выходит из зоны повышенных напряжений, поэтому происходит сваривание трением, и движение прекращается. Начинается образование следующего элемента. Возрастает усилие сопротивления движению лезвия со стороны цельного металла, расположенного ниже плоскости скалывания, и приварившейся к нему стружки. Увеличивается пластическая область у вершины лезвия, что приводит к образованию нового пластического шарнира, то есть образованию следующей плоскости скалывания и так далее.

Так как треугольная область dbc основанием dc обращена в сторону плоскости скалывания, то при движении стружки и развитии пластической области у вершины отрезок dc изгибается и вытягивается в противоположную движению сторону - dc . Так образуется прирезцовый слой стружки.

После окончания резания на резце присутствует твердое образование, которое называют наростом. Существует ли нарост в процессе резания? Это образование тверже исходного обрабатываемого металла, так как подвергалось значительному пластическому деформированию. Однако предположить, что это равноценное продолжение лезвия нельзя. Закаленная сталь может резать незакаленную. Но резание нестабильное, и режимы существенно уступают режимам при использовании инструментальных материалов. Нарост - это явление после резания, а при резании можно говорить о находящейся в высоконапряженном состоянии застойной зоне. Форма этой зоны зависит от свойств обрабатываемого и инструментального материалов, режимов резания, условий контакта на передней поверхности и геометрии лезвия. Участие ее в процессе резания описано ранее как фактор создания деформации изгиба. То есть в процессе резания нет геометрически стабильного образования на передней поверхности в виде наблюдаемого после окончания резания нароста. Это высоконапряженная, меняющаяся в течение цикла стружкообразования пластическая область.

В пользу этого довода говорит тот факт, что имеющийся на передней поверхности прочный нарост определенных размеров разрушается при изменении режимов обработки, даже в сторону облегчения. При этом, после завершения уже нового процесса, может наблюдаться новый нарост, который соответствует тем условиям, при которых осуществляется процесс.

Часть застойной зоны может в результате адгезии сцепляться с передней поверхностью, а размеры ее в цикле образования элемента меняются. Застойная зона, преодолевая внутреннее трение в металле, может отделяться от обработанной поверхности не строго по плоскости резания. Могут образоваться задиры, металл может отрываться от застойной зоны и ниже поверхности раздела.

Почему же стружка отделяется от застойной зоны по поверхности, удаленной от передней поверхности лезвия? Ведь чем ближе к лезвию, тем выше напряжения и вероятнее раздел металла. Как размеры застойной зоны зависят от скорости резания?

Расчеты показывают, что линии скольжения (траектория действия касательных напряжений) у вершины лезвия могут располагаться и ниже линии раздела. Существует много фотографий нароста, выступающего за заднюю поверхность [3,4].

Если происходит разрыв по границе застойной зоны и металла, то он возможен только по направлению действия касательных напряжений. Место этого разрыва и форма нароста, выступающая за заднюю поверхность, такие не потому, что в системе резания есть тверже, чем окружающий металл, образование на вершине лезвия, а только потому, что такой оказалась схема приложения сил, и она создала именно такую форму линий скольжения.

Во время внедрения лезвия в металл, в начале цикла стружкообразования, образование пластической зоны у вершины, где напряжения в несколько раз превосходят предел прочности, все перемещения происходят в этой зоне вдоль линий скольжения. Они намного превосходят перемещения в остальной массе металла, которая также деформируется. Однако интенсивность движения металла припуска по отношению к застойной зоне намного возрастает при образовании плоскости скалывания. И даже в это время застойная зона может сохраняться, так как относительное движение стружки по отношению к застойной зоне начинается и совершается по линии скольжения, где касательные напряжения равны пределу прочности обрабатываемого материала. Эта граница застойной зоны сопрягается с плоскостью скалывания, и реакция металла припуска при движении стружки по плоскости скалывания направлена по касательной к этой границе. То есть причиной разрыва зоны высоких напряжений и массы стружки является движение стружки. Следующие (в направлении к передней поверхности) слои не увлекаются за стружкой, так как они из-за высоких напряжений связаны между собой еще меньше, и эти силы связей уменьшаются по мере приближения к передней поверхности. Такой же процесс происходит со стороны плоскости резания. Так образуется застойная зона. Застойная зона может выступать за плоскость резания потому, что так располагается поле линий скольжения, и металл не может перемешиваться и разделяться наподобие жидкости. Находясь под воздействием высоких напряжений, объемы металла застойной зоны могут перемещаться только по направлению линий скольжения. Снятие нагрузки устраняет эти предпосылки, и мы имеем твердое (из-за больших пластических деформаций) тело, которое принято называть наростом.

Изменение размеров застойной зоны при увеличении скорости резания объясняется соотношением скоростей деформирования и распространения пластических деформаций. Наблюдения за зоной резания показывают, что с увеличением скорости деформирования (резания) V граница пластической области, приближается к передней поверхности. Если считать, что скорость распространения пластических деформаций - постоянная величина V_0 , зависящая от свойств обрабатываемого материала, то результирующая скорость движения границы пластической области равняется

$$V_{гр.} = V_0 - V.$$

Таким образом, при низких скоростях деформирования $V \rightarrow 0$, пластическая область, распространяясь от вершины лезвия, выходит на поверхность срезаемого металла. В этом случае движение металла, вызванное реакцией той части металла, которая не достигла предела

текучести вдоль криволинейных линий скольжения, невозможно, так как по всем этим траекториям возможно только разрушение. Происходит выдавливание металла передней поверхностью с последующим сдвигом по направлению действия максимальных касательных напряжений. В момент сдвига в движение вовлекается весь металл, находящийся между передней поверхностью и плоскостью сдвига, поэтому застойной зоны нет. Застойная зона начинает появляться по мере уменьшения значения $V_{гр}$. При определенном значении скорости деформирования V , а следовательно и $V_{гр}$, со стороны наружной поверхности стружки, прерывая траекторию максимальных касательных напряжений, выходящую из вершины лезвия, образуется упругая область.

Эта область испытывает сжатие и изгиб, и в определенный момент времени наступает разрушение по направлению линии скольжения, выходящей из вершины лезвия. Происходит перемещение объема металла вдоль образовавшейся плоскости скалывания, что, в свою очередь, является причиной сдвига металла вдоль передней поверхности лезвия. Из-за наличия упругого участка последовательные плоскости сдвига отдаляются друг от друга, образуя элемент стружки. Во время движения образовавшегося элемента происходит резкое падение напряжений в пластической зоне, что переводит ее почти полностью в упругое состояние, за исключением небольшого участка у вершины. Он разделяется с приобретшей упругость массой металла и образует застойную зону.

По мере увеличения скорости деформирования уменьшается скорость движения границы пластического состояния по отношению к передней поверхности лезвия. Это увеличивает размеры упругой области и силы сопротивления при движении металла по плоскости скалывания. Поэтому разгрузка в прирезцовой зоне происходит не так интенсивно, и к началу следующего цикла стружкообразования сохраняется пластическая область значительно больших размеров.

Таким образом, при увеличении скорости резания от нуля до некоторого значения происходит увеличение застойной зоны. Затем, после достижения максимального размера застойной зоны, происходит ее уменьшение при дальнейшем росте скорости. Это связано с уменьшением расстояния от передней поверхности до границы пластического состояния.

Следовательно, приходим к логическому заключению, что наблюдающийся на поверхности лезвия нарост непосредственно приравнять к лезвию нельзя. Он только следствие того, что в момент резания у вершины лезвия образуется изменяющаяся в течение цикла стружкообразования застойная зона, ограниченная линиями скольжения, по которым действуют касательные напряжения, соответствующие пределу прочности обрабатываемого материала. Важно отметить, что в процессе резания клиновидное тело на поверхности лезвия "не является полностью стабильным телом, а постоянно и чрезвычайно быстро изменяет свои размеры" [3], что и фиксируется экспериментально.

SUMMARY

Stress formation in the cutting zone is calculated with the use of the method of final elements. Unity of a deformation field in the cutting zone is shown to exclude concepts of "primary" and "secondary" deformation zones. The plane of the shift is the term, which should mean the completion of a chip-formation cycle. A varied stress field in a zone of destruction is investigated. It is established that the growth defaults the role of a cutting wedge, but is a consequence of the existence of the increased deformation area at the top of the edge. The reasons of chip curling and sequence of chip layer formation near the tool are disclosed.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мухин А.В. Кибернетико-деятельностный подход к анализу технологии // Вестник машиностроения, N 6-7. - М.: Машиностроение, 1992, с.43-47.
2. Швець С.В. Системний підхід до теорії різання. - К.: НМК ВО, 1992, 120 с.
3. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. - М.: Машиностроение, 1975, 344 с.
4. Лададзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. - М.: Машиностроение, 1984, 224 с.

Поступила в редколлегию 3 марта 1994 г.