

2007, Вып.33, С.313-317. **3.** Христафорян С.Ш. и др. Синергетическая модель пластического деформирования материала при резании. Межд.сб. науч.тр. - Донецк: ДонНТУ, 2007, Вып.34, с.238-244. **4.** Христафорян С.Ш. О процессе резания материалов как самоорганизующейся структуре по переработке вещества. //Изв. НАН РА, сер. ТН, 1999, том 2, - с.145-152. **5.** Христафорян С.Ш. Теоретические и технологические основы повышения эффективности обработки материалов использованием УЗК. //Автореф. на соиск.уч.ст. д.т.н., - Ереван, - 1996. **6.** Христафорян С.Ш., Саакян С.Г., Христафорян Э.С. Особенности структуры свободной поверхности области деформирования материала при резании. Межд. сб. науч. тр. – Донецк: ДонНТУ, 2007, Вып. 33, С.318-322. **7.** Развитие науки о резании материалов. М.: Машиностроение, 1967, с. 416.

Сдано в редакцию 16.01.08

### **О КИНЕМАТИКЕ АНСАМБЛЕЙ МАТЕРИАЛА НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ОБЛАСТИ РЕЗАНИЯ И ТЕЛА СТРУЖКИ**

**Христафорян С.Ш., Христафорян Э.С., Вартазарян З.В. (ГИУА, Ереван, РА)**

*Are examined the questions of the distribution of the speeds of the ensembles of substance on the boundaries of the cutting region, which ensure the conditions for involvement of the initial workable material in the process of plastic deformation and condition for formation of solid body of shaving, which has the clearly specific form and the kinematics of displacement in the space. Analysis is carry ouied for the case of free cutting with the output in the general case of cutting.*

Физический процесс резания, по существу, есть процесс изготовления стружки, в итоге которого не подвергшийся резанию остаток обрабатываемого материала, определенных размеров и качества обработанной поверхности именуется деталью. Именно он используется в качестве элемента современной техники определенного назначения, резание же – внедрение в материал клина и его пластическое деформирование, в итоге чего образуется стружка, это один из наиболее интересных процессов материального мира. Стоит заметить, что этот сложнейший физический процесс, несмотря на то, что процесс резания один из основных технологических процессов современного производства и ему посвящены многочисленные исследования, выведенные в отдельную отрасль науки, в сущности, достаточно не изучен. О чем говорить, если на сегодняшний день даже не разработана физическая модель пластического деформирования при резании, а имеющиеся все модели содержат условные понятия, предельно упрощены и не позволяют составить единое мнения о процессе резания. Поэтому вопрос разработки адекватной физической модели процесса стружкообразования - актуальная задача науки. Надо отметить, что в этом вопросе огромное значение приобретают вопросы особенностей кинематики вещества в области резания, в результате чего твердое тело стружки, приобретая, практически, неповторяющиеся пространственные формы или конфигурации при этом и перемещается в пространстве на выходе из области резания весьма своеобразно и трудно контролируемо.

Рассмотрим схему (рис.1), на которой представлена структура резания в момент, когда уже существует твердое тело стружки (рассматривается случай свободного резания). В начале формирования твердого тела сливной стружки, она движется по какой-то окружности с радиусом  $R_3$  и  $R_{BH}$  относительно некоторого центра вращения  $O$ . Затем, когда первый виток стружки упрется в некоторую преграду, стружка начнет наво-

рывать спираль, которая будет иметь иные параметры, так или иначе отличающиеся от тех, которые характеризуют начальный этап формирования твердого тела стружки. Безусловно, отмеченное должно сказаться и на все пространство скоростей ансамблей материала в объеме области резания и вызвать соответствующие изменения в кинематике материала в области резания, следовательно, и в характере пластического деформирования материала, однако для рассматриваемого вопроса разумно провести идеализацию и обсудить вопрос с позиций исключения влияния внешних, по отношению к структуре резания, флуктуаций на формирование твердого тела стружки. На рис. 1 представлена плоскость  $gp$ , которую для свободного резания можно считать осью, проходящей через точки  $m$  и  $g$  и перпендикулярной обработанной поверхности, тогда точки  $m$  и  $g$  характеризуются тем, что до них отсутствуют следы деформирования (торможения), а после них начинается деформирование и снижение скоростей ансамблей материала, при прохождении структуры резания.

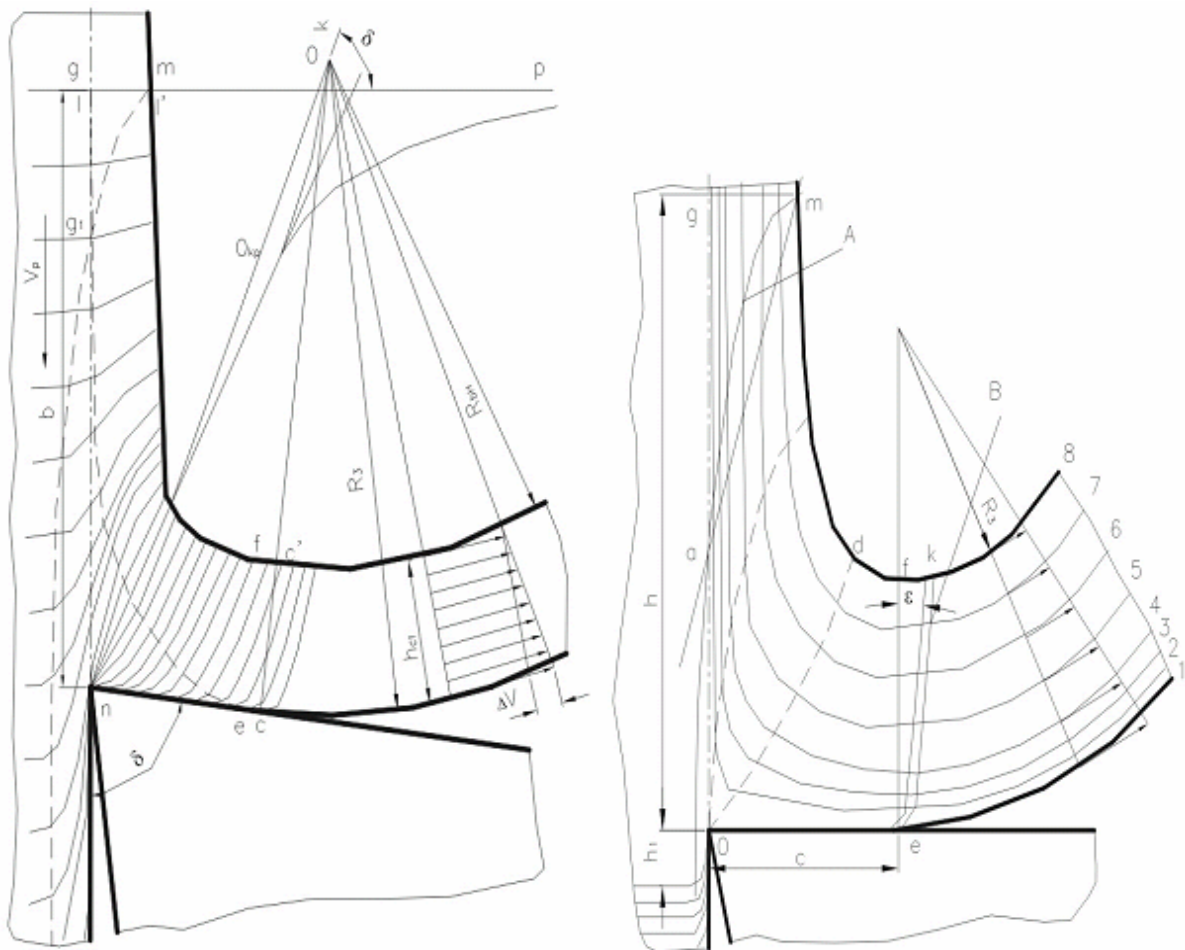


Рис. 1 Архитектура области резания (а, слева) и соответствующая кинематика материала в ней (б) при прохождении структуры резания

Допустим, в начале закручивания центры внутренней и прирезцовой поверхностей стружки находятся в точке  $O$ . Нужно, чтобы ансамбли материала в плоскости, перпендикулярной к передней грани режущего клина и проходящей через точку  $O$  – центр закрутки, и точку  $C$  – точку отрыва стружки от клина, имели распределение ско-

ростей, подобное вращательному движению твердого тела относительно центра вращения  $O$  и

$$V_H = V_P \frac{R_3}{R}; \quad V_{BH} / (R_3 - h_{CT}) = V_H / R_3; \quad \text{и} \quad V_{BH} = V_{CT} - V_P t / R_3.$$

Иного не дано, т.к. противный случай, когда центры находились бы в различных точках, свидетельствовал бы о продолжении деформирования, т.е. на отсутствие твердого тела стружки в указанном направлении. Можно считать, что условие совмещения центров вращения ансамблей материала в данном сечении в одну точку или центров вращения внутренней и прирезцовой сторон стружки, может служить необходимым условием образования твердого тела стружки. Если стружка закручивается относительно центра  $O$  и отходит от передней грани клина в точке  $C$ , а передняя грань касается к окружности радиусом  $R$  в точке  $C$ , то распределение скоростей должно быть справедливым для сечения  $C C'$ , т.е. окружность  $R_{BH}$  должна начинаться в точке  $C'$ , а поверхность раздела твердого тела стружки от структуры резания  $l f$  должна быть плоскостью или, в крайнем случае, поверхностью, проходящей через точки  $C$  и  $C'$ .

Попытки найти созидающие причины описанного положения поверхности раздела  $l f$ , стягивающей один слой ансамблей материала, не меняющих соседства и не выпадающих из текущей через область резания поверхности в процессе деформирования материала, что однозначно подтверждают явная текстура и конфигурация стружки, не дали результата, т.к. не найдена причинно-следственная связь, обеспечивающая совпадение поверхности с плоскостью  $C C'$  микрофотографии корней стружек, обработка слоистых материалов и пр., в основном, показали противоположное, особенно при резании пластичных материалов. Не реальным кажется и факт, что ансамбли, охваченные текущей поверхностью  $l_T f_T$ , при совпадении с плоскостью  $C C'$ , сразу по всем точкам поверхности начнут подчиняться явно определенному закону распределения скоростей в направлении схода стружки. Реальным кажется постепенное выравнивание скоростей слоев по мере входа их в плоскость  $C C'$  [1,2], причем выравнивание скоростей будет происходить с точки слоя, которая первой совместится с плоскостью  $C C'$ , т.к. прочие ансамбли слоя еще будут находиться в упругопластической части области резания, над площадкой контакта по передней грани режущего клина.

Рассмотрим схему (рис.1,а). Когда ещё не наблюдаются признаки деформирования у материала, подходящего к структуре резания, векторы скоростей точек  $I$  и  $I'$  равны и параллельно направлены, т.е. текущий центр вращения  $O_T$  находится на оси  $gp$  в бесконечности. Достаточно, чтобы началось деформирование (торможение) слоев, поступающего в область резания материала, появится разность скоростей  $\Delta V = V_{I'} - V_I$ . Разность скоростей будет обусловлена формой структуры резания и разностью глубин залегания слоёв в материале. При линейной зависимости изменения можно считать, что материал начинает вращаться вокруг уже определенного, мгновенного центра вращения  $O'_T$ , стремящегося к точке  $O$ . Траектория, по которой текущий центр будет стремиться к центру вращения прирезцового слоя стружки, должна быть обусловлена формой наружной поверхности области резания  $mc'$ , кривизна которой, по мере приближения  $m$  к  $C'$ , меняется и может быть произвольной, но в завершении неизбежной, т.е.  $O'_T$  совместится с  $O$ . Практически, начальное положение центра  $O'_T$ , в некотором роде, определимо прямой  $gp$ , проведенной в точке  $m$ , где материал еще обладает скоростью резания, а в последующем - скоростью  $V < V_P$ , обусловленной торможением, т.е. тра-

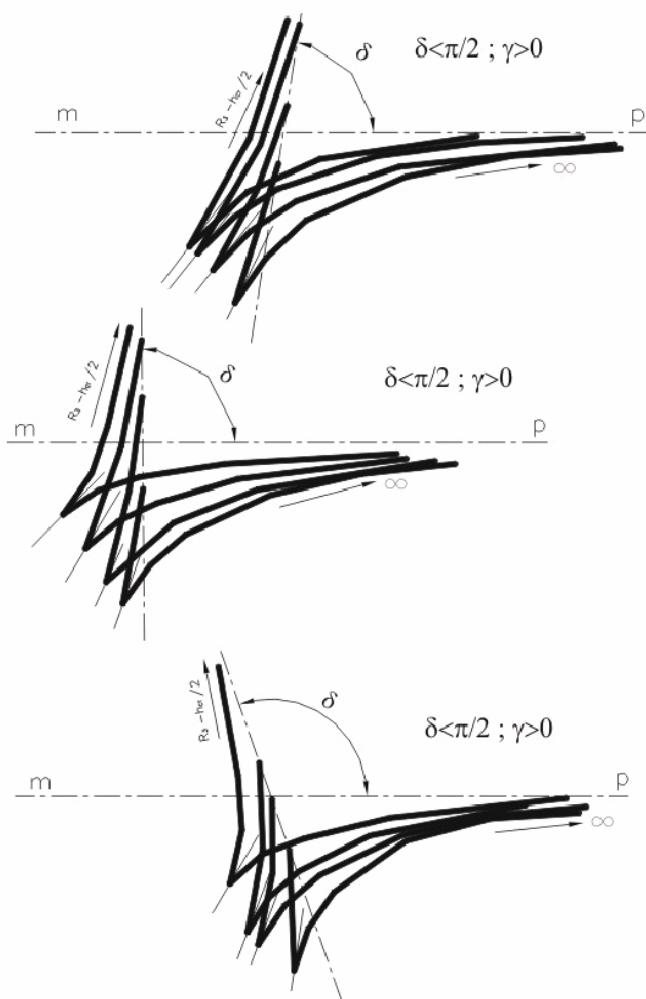


Рис.2 Семейства усредненных траекторий текущего центра кривизны наружной поверхности области резания при трех условиях

ектория, по которой в рассматриваемом сечении перемещается в пространстве  $O_T'$  должна асимптотически приближаться к прямой  $gp$ .

Центр закрутки  $O$  может находиться в произвольной точке на прямой  $CK$ , что определяется радиусом закрутки  $R_3$ , т.е.  $\Delta V$ . От которой зависит и  $R_3$ . Эта зависимость представит собой гиперболическую функцию с коэффициентом  $K = V_p \cdot t$ , т.е.  $R_3 = V_p \cdot t / \Delta V$ . В зависимости от положения точки  $O$  на прямой  $CK$ , перемещение  $O_T'$  к точке  $O$  может происходить по различным кривым, но любая из траекторий должна обеспечить граничные условия на границе материала – непрерывность и плавность траектории перемещения  $O_T'$  с позиции квазиламнарности потока вещества. В конечном итоге, эта усредненная траектория в данном сечении может быть определена формой наружной поверхности области резания. На рис.2 приведено семейство траекторий  $O_T'$  в зависимости от положения центра  $O$  на прямой  $CK$  и угла  $\gamma$ . Положение  $O_{KP}$  зависит от величины  $b$  (рис.1) – границы распространения деформации в тело заготовки по направлению резания, характеризуемой прямой  $CK$  и величиной  $h_{CT}$ , т.к. центр закрутки

стружки не может быть в теле стружки.

Как отмечалось [3], скорость точки  $m$ , при прохождении по кривой  $mc'$  - наружной границы структуры резания, должна монотонно снижаться. Функция изменения скорости точки  $m$  на своей траектории может быть усреднена и представлена в форме

$$V_m = (V_p - V_{BH}) \left[ \frac{(1 + \cos k_1 \pi)}{2} \right] + V_{BHc'}$$

где  $V_m$  – скорость точки  $m$  в точке  $C'$  траектории при  $m \rightarrow C$ ,  $k_1 = mC_1'/mC$  – отношение пройденного участка траектории к её длине. Для определения скоростей в любой точке траектории можно воспользоваться, приведенной выше зависимостью.

Рассмотрим те же условия для внутреннего слоя материала  $gc$ , можно записать

$$V_g = (V_p - V_{CT}) \frac{(1 + \cos k_2 \pi)}{2} + V_{CT} = V_p \cdot \xi_L^{-1} \left[ \left( \frac{\xi}{\xi_L} - 1 \right) \frac{(1 + \cos k_2 \pi)}{2} + 1 \right]$$

$$V_m = \left[ V_p - V_{CT} \cdot R_3^{-1} (R_3 - t \xi_L^{\xi}) \right] \left[ (1 + \cos k_1 \pi) \cdot 0,5 + V_{CT} R_3^{-1} (R_3 - t \xi_L^{\xi}) \right].$$

Величина разности скоростей, характеризующее закручивание стружки для пары точек на траектории  $gc$  и  $mc'$  будет

$$\Delta V = V_g - V_m = V_p \xi_L^{-1} \{ [(\xi_L - 1)K_2 + 1] - [(\xi_L R_3 - R_3 + t_{\xi_L}^{\xi})K_1 R_3^{-1} + (R_3 - t_{\xi_L}^{\xi})R_3^{-1}] \}$$

где  $K_1 = (1 + \cos k_1 \pi) / 2$ ;  $K_2 = (1 + \cos k_2 \pi) / 2$  и если  $k_1 = k_2 = 1$ , т.е.  $mC'_1 = mC$ , то  $gc = gc'_1$  и  $\Delta V = V_c - V'_c = \Delta V t R_3^{-1}$ , что после преобразований представится как:

$$\Delta V_T = V_p \xi_L^{-1} [(\xi_L - 1)(k_2 - k_1) + t_{\xi_L}^{\xi} R_3^{-1} (1 - k_1)].$$

Заметить, что если темпы изменения траекторий  $k_2$  и  $k_1$  равны, т.е.  $mC'_1 / mC_1 = gc' / gc$ , то полученная зависимость представится как:  $\Delta V_T = V_p t (1 - k_1) R_3^{-1}$ .

Принятое условие, что темпы изменения пройденных участков траекторий  $mC'_1$  и  $gc$   $k_2$  и  $k_1$  равны, по видимому, наиболее вероятное, т.к. оно обеспечивает одновременное нахождение в одной точке обеих мгновенных центров вращения обеих траекторий и для этого случая можно записать  $R_{gc}^T = R_{mc}^T + (\xi_L^T \cdot t)$ , т.е. разность мгновенных текущих радиусов составляет величину нарастания утолщения стружки при прохождении материала через область резания и в завершении  $R_3 = R_{BH} + t_{\xi_L}^{\xi}$ . Здесь уместно отметить и противный случай, когда центры траекторий не совпадают. Допустим, ансамбли из поверхности  $gt$  имеют возможность перемещаться в структуре резания по каким-либо траекториям. Разумеется, для каждой из этих траекторий можно найти и мгновенные центры вращения и если они для двух соседних траекторий не будут находиться в одной точке, то траектории неизбежно пересекутся или будут расходиться, но только при этом возможно пересечение одной из них с траекторией некоторого иного ансамбля, что будет указывать на факт “перемешивания” вещества в области резания, чего никогда не наблюдалось. Причем если даже есть теоретическая возможность пересечения траекторий, то возможно и одновременное появление в точке пересечения двух ансамблей, что вообще исключается как нонсенс, т.е., с позиций исключения любой аномальной возможности, траектории ансамблей не должны пересе-

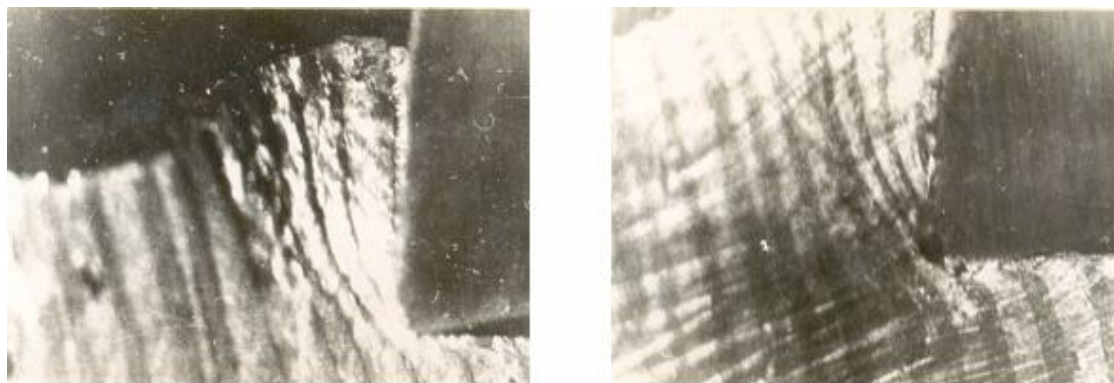


Рис.3 Фрагменты формирования – а) и функционирования области резания – б) (обработка слоистых материалов), подтверждающие отсутствие явления “перемешивания” и возможность одновременного вытягивания и сдвига ансамблей материала в ней

каться.

Наиболее целесообразно это условие может быть обеспечено только за счет совмещения в одной точке мгновенных центров вращения всех траекторий ансамблей и при этом все траектории ансамблей в направлении криволинейной оси  $XX_1$ , проходя-

щей через структуру резания, будут расходиться от оси, не пересекаясь друг с другом, а радиусы вращения двух соседних ансамблей будут отличаться на размер продеформированного зерна и весь поток вещества через структуру резания будет происходить без перемешивания, скорее наиболее целесообразно (рис.3). Причем, т.к. есть явление усадки стружки, то компенсация условия расхождения траекторий перемещения центров ансамблей будет происходить за счет вытягивания ансамблей данного слоя или относительного сдвига слоев совмещенного с вытягиванием. Нет сомнений, что в первом случае свободная поверхность области резания, а затем и сама стружка, не будут иметь зазубрин на внутренней поверхности - признаков сдвиговых явлений в области резания, что по существу мало вероятно и практически не отмечалось. Во втором, наличие зазубрин неизбежно, а их размеры будут зависеть от соотношения характеристик сдвига и вытягивания или сплющивания ансамблей, более того, это соотношение будет характеризовать и вид стружки. Проведена классификация стружек исходя из соотношения высоты зазубрин на внутренней поверхности и толщины стружки, которая допускает возможность оценки соотношения деформаций сдвига и сплющивания ансамблей для определенного объема, деформированного свободным резанием материала. Такой подход приемлем и для оценки условий деформирования в направлении уширения стружки.

Приведенное справедливо само по себе, но лишь в случае, если поверхность  $gm$ , стягивающая один слой ансамблей материала при подходе к структуре резания остается плоскостью при прохождении структуры резания до плоскости  $CC'$ , но если для области  $gmg_1$  вполне допустимо, что слой одновременно вовлекаемого материала стянут поверхностью  $g_1m$  и до неё материал не претерпевает деформаций, то ограниченная поверхностями  $g_1C$ ,  $Cn$ ,  $ng_1$  область, просто выпадает из описанных условий, что просто исключается, следовательно наличие отмеченной области в структуре резания указывает, что более реальна система криволинейных поверхностей, а траектории перемещения ансамблей в структуре резания не симметричны относительно криволинейной оси  $XX_1$  и несколько продеформированы ввиду наличия указанной области. Отмеченное приведет к возникновению в ней специальных соотношений сдвига и сплющивания и заметим, что с позиций потока вещества эта область "не вписывается" в общую картину и нарушает "гармонию" структуры резания. Если бы клин имел бы форму отмеченной области "гармония" потока вещества, обтекающего клин, выглядела бы более целесообразной. В практике резания часто посредством специальной заточки форму клина доводят до подобной геометрии, а в некоторых случаях такая форма достигается за счет образования лунки износа, или образования нароста, или опережающей трещины, что с позиций самоорганизации материальных структур подробно рассмотрено в работе [5].

Убежденность, что приведенная картина деформирования материала в области резания и формирования определенной кинематики материала на выходе из неё более вероятна и реальна, чем известные подходы к этому вопросу обусловлена тем, что такой механизм образования твердого тела стружки не ограничивает возможности структуры резания с позиций синергетики. Она должна быть гибкой в поиске возможно оптимального решения. Вспомним, достаточно незначительно воздействовать на твердое тело стружки внешней силой и сразу же начинается формироваться новая пространственная структура стружки, следовательно, и области резания, а такое взаимодействие возможно лишь при наличии обратной связи между структурой резания и телом стружки.

**Список литературы: 1.** Христафорян С.Ш., Саакян С.Г. и др. Характеристики области резания и об усадке стружки. Межд. сб. науч.тр. – Донецк: ДонНТУ, 2007,

Вып.33, С. 323-327. 2. Христафорян Э.С. Об истинной степени пластического деформирования материала при резании Межд. сб. науч. тр. – Донецк: ДонНТУ, 2007, Вып.33, С.313-317. 3. Христафорян С.Ш. и др. Синергетическая модель пластического деформирования материала при резании. Межд. сб. науч. тр. - Донецк: ДонНТУ, 2007, Вып.34, с.238-244. 4. Христафорян С.Ш. О процессе резания материалов как самоорганизующейся структуре по переработке вещества. //Изв. НАН РА, сер. ТН, 1999, том 2, - с.145-152. 5. Христафорян С.Ш. Теоретические и технологические основы повышения эффективности обработки материалов использованием УЗК. //Автореф. на соис. уч. ст. д.т.н., - Ереван, - 1996. 6.Христафорян С.Ш. и др. Особенности структуры свободной поверхности области деформирования материала при резании. Межд. сб. науч. тр. - Донецк: ДонНТУ, 2007, Вып. 33, с.318-322. 7. Развитие науки о резании материалов. // М: Машино-ение, 1967, с. 416.

Сдано в редакцию 16.01.08

## **ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ СХОДА СТРУЖКИ ПРИ НЕСВОБОДНОМ РЕЗАНИИ**

**Христафорян С.Ш., Христафорян Э.С., Вартазарян З.В., Гараян А.,**  
(ГИУА, “Harval engineering”, Ереван, РА)

*On the basis of the synergetic model of the cutting region are examined questions of formation of the shaving gathering direction depending on the conditions for the deformation of material at the basic and side rakes of the cutting wedge and parameters of the regime field of the cutting process. It is shown that the relationship of the lengths of cutting edges and the state of the deformed material with them play the decisive role in formation of the shaving gathering direction.*

Процесс резания – это, определенно, самоорганизующийся процесс, и до начала процесса резания не представляется возможным однозначно предсказать направление схода стружки по передней грани режущего клина, а также иные её параметры, тогда как этот вопрос весьма значим для автоматизированного производства, где иногда проблемы, связанные с удалением стружки из пространства резания, часто трудно разрешимы. Контакт стружки с обработанной поверхностью влияет на качественные показатели поверхности, особенно в случае, когда она навивается на режущий инструмент. Аналогичные вопросы возникают, практически, во всех технологических процессах резания. Безусловно, на направление схода стружки основное влияние должно оказывать пространство напряжений в области резания, которое в свою очередь зависит от режима резания. Так при нарезании резьбы или проточке симметричной канавки треугольного сечения стружка сходит в направлении оси симметрии режущего клина, а это свидетельствует, что весьма существенна роль соотношения длин режущих лезвий, участвующих в формировании твердого тела стружки.

Согласно синергетической модели области резания [1,2,3,4] область резания при свободном резании представляет собой сложнопространственный пакет двоякосужающихся каналов сдвига в ортогональном сечении, а в сечении, параллельном передней грани режущего клина, будет выглядеть как ячеистый пакет, напоминающий сотовую конфигурацию, причем отмеченное относится к масштабу какого-то ансамбля материала, например, зерну поликристалла, но ни в коей мере ко всей области резания. Такая структура области резания не имеет никаких ограничений с позиции приспособления к пространству параметров резания и любые внешние или внутренние изменения