

УДК 621.00.2

В.А. Марунич  
НМетАУ, г.Днепропетровск, Украина  
E-mail: Yarizanna2007@ukr.net

## КИНЕМАТИКА СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ СКОЛЬЗЯЩЕМ РЕЗАНИИ МАТЕРИАЛОВ

*В статье рассмотрены особенности кинематики стружкообразования при скользящем резании материалов. Дано объяснение охрупчиванию обрабатываемого материала в контактной зоне с позиции скорости его деформации. Показано на конкретном примере на сколько увеличивается рабочий передний угол  $\gamma_p=50^\circ$  и «кинематическое заострение» рабочего угла заострения  $\beta_p=21^\circ$ , что существенно улучшает процесс стружкообразования.*

**Ключевые слова:** кинематика стружкообразования, скользящее резание, скорость деформации растяжения, скорость деформации сжатия.

В теории резания материалов изучению процесса стружкообразования уделяется особое внимание, так как оно объясняет нарушение сплошности материала. В основе механизма процесса стружкообразования лежит теория пластической деформации материала. Тип стружки зависит от механических свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров рабочей части инструмента, режима резания и др. факторов. Все эти параметры достаточно полно исследованы и изучены при традиционном процессе резания материалов [1-3].

Известно, что на направление схода стружки при косоугольном резании оказывает влияние величина угла наклона режущей кромки  $\lambda$ , на который плоскость стружкообразования отклоняется от своего исходного положения, перпендикулярного к режущей кромке.

При скользящем резании угол наклона кромки находится в пределах  $70^\circ \leq \lambda \leq 90^\circ$  и эта зона значений угла  $\lambda$  и его влияние на процесс стружкообразования ранее не исследовалась, а это имеет принципиальные отличия кинематики процесса скользящего резания от традиционного[4]. Это обстоятельство определило необходимость в проведении исследований кинематики стружкообразования при скользящем резании.

Рассмотрим схему (рис. 1), на которой ось  $x$  совмещена со скоростью главного движения резания  $\bar{V}$ . По этой оси создаётся наибольшее скольжение и, соответственно, напряжение растяжения  $\sigma_p$ . Все частицы обрабатываемого материала перемещаются в направлении оси  $x$  относительно лезвия инструмента со скоростью деформации растяжения  $\bar{V}_{1dp}$ , а по оси  $y$ , которая совмещена с движением подачи  $Ds$ , создаются напряжения сжатия  $\sigma_{cж}$  и скорость деформации сжатия  $\bar{V}_{1dc}$ . На оси  $x$  скорость деформации сжатия равна 0.

По оси  $y$  в направлении движения подачи  $Ds$  создаются напряжения сжатия  $\sigma'_{cж}$  и скорость деформации сжатия  $\bar{V}_{2dc}$ , а по оси  $x$  деформация растяжения  $\sigma'_p$  и скорость деформации растяжения  $\bar{V}_{2dp}$ . На оси  $y$  скорость деформации растяжения равна 0. При действии напряжений во взаимно перпендикулярных направлениях имеет место плоское напряженное состояние и чистый сдвиг (срез) [5].

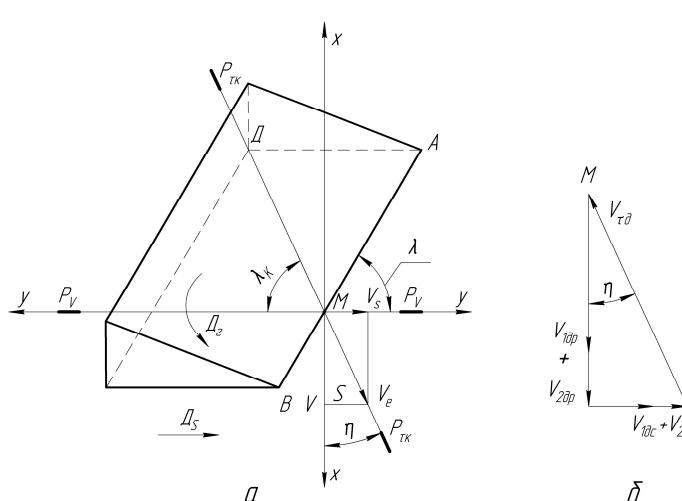


Рис. 1. Схема скоростей движения точек режущей кромки в процессе скользящего резания

При соприкосновении точки **M** режущей кромки **AB** с частицей обрабатываемого материала она стремится оторвать её и в микрообъёме по контактной поверхности действует напряжение растяжения  $\sigma_p$ , которое сообщает частице обрабатываемого материала скорость деформации растяжения  $\bar{V}_{1dp}$  по оси **x** и скорость деформации сжатия  $\bar{V}_{1dc}$  по оси **y**. Движение подачи  $D_s$  точки **M** режущей кромки **AB** в направлении оси **y** создает напряжение сжатия  $\sigma'_{сж}$  и сообщает частице обрабатываемого материала

скорость деформации сжатия  $\bar{V}_{2dc}$  по оси **y** и скорость деформации растяжения  $\bar{V}_{2dp}$  по оси **x**. Таким образом, происходит локализация напряжений разного характера (растяжения и сжатия) в микрообъёме поверхностного слоя обрабатываемого материала, которые действуют в двух взаимно перпендикулярных направлениях по оси **x** и по оси **y** и создают мгновенное критическое ускорение  $\frac{d \cdot (V_{1dc} + V_{2dc})}{dt}$  по оси **y**, при котором молекулы или атомы обрабатываемого материала не успевают перемещаться относительно друг друга и, в результате, отделение частицы обрабатываемого материала происходит на более ранней стадии деформации. Таким образом, деформация обрабатываемого материала по оси **y** бесконечно мала и при практических расчетах ею можно пренебречь.

Отделенная частица обрабатываемого материала перемещается со скоростью деформирования  $\bar{V}_{\omega}$  в направлении результирующей скорости резания  $\bar{V}_e$  под углом скорости резания  $\eta$ .

Главная секущая плоскость  $P_{rk}$  в кинематической системе координат в процессе скользящего резания названа плоскостью стружкообразования, а угол скорости резания  $\eta$  – углом направления схода стружки.

Угол направления схода стружки  $\eta$  (рис. 1, б) определяется из выражения:

$$\eta = \arctg \frac{V_{1dc} + V_{2dc}}{V_{1dp} + V_{2dp}},$$

а по рис. 1, а определяется из выражения:

$$\eta = \arctg \frac{S}{V},$$

где  $S$  – подача;

$V$  – скорость резания.

Направление схода стружки изменяется в зависимости от параметров режима резания  $S$ ,  $V$  и не зависит от глубины резания  $t$ .

Традиционный процесс резания пластичных материалов [6,7] – это процесс больших пластических деформаций в ходе его преобразования в стружку. Последней

стадией этого процесса является разрушение, когда стружка теряет контакт с передней поверхностью и начинает существовать как самостоятельное тело, свободное от воздействия внешних нагрузок. Именно на этой стадии происходит ее завивание (изгиб оси). Это происходит потому, что сдвиг – не единственная деформация, обуславливающая превращение срезаемого слоя в стружку. Этот слой всегда с большей или меньшей интенсивностью подвергается неравномерному сжатию в направлении, перпендикулярном к передней поверхности лезвия. Как следствие, в двух направлениях, перпендикулярных к первому возникают напряжения растяжения, и опорная поверхность стружки приобретает большую скорость.

При скользящем процессе резания скорость деформации растяжения превалирует над скоростью деформации сжатия  $\bar{V}_{1dp} >> \bar{V}_{2dc}$ . В связи с тем, что локализация напряжений разного характера растяжения и сжатия в микрообъеме контактной поверхности приводит к высокой мгновенной скорости  $\bar{V}_{\text{в}}$ , обрабатываемый пластичный материал проявляет склонность к охрупчиванию и разрушение происходит на более ранней стадии при малых энергетических затратах. Проявление склонности к охрупчиванию обрабатываемого материала при высоких скоростях деформации отмечается и в работе [7].

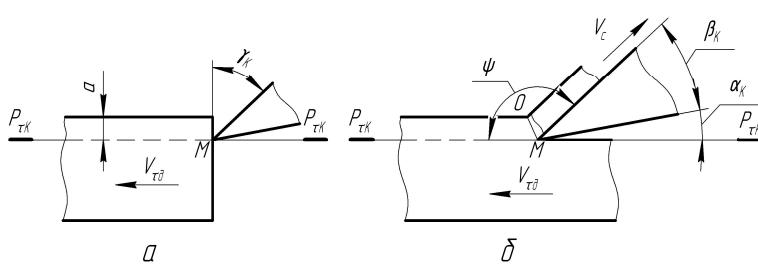


Рис. 2. Схема стружкообразования при скользящем резании

по передней поверхности (рис. 2) лезвия инструмента под углом ( $\alpha_k + \beta_k$ ).

При скользящем резании величина рабочего переднего угла  $\gamma_k$  определяется по формуле [4]. Подставляем соответствующие значения (см. табл. 1) величины инструментальных углов проходного резца для конкретного случая скользящего точения в эту формулу и получаем:

$$\gamma_p = \gamma_k = \arctg \frac{\operatorname{tg} \gamma_u}{\cos(\lambda_u - \eta)} = \arctg \frac{\operatorname{tg} 12^\circ}{\cos 80^\circ} = 50^\circ.$$

Таким образом, при скользящем резании стружка сходит по значительно увеличенному переднему углу  $\gamma_p = 50^\circ$ , по сравнению с инструментальным  $\gamma_u = 12^\circ$ , и это существенно улучшает процесс стружкообразования. Увеличенный передний угол  $\gamma_p$  меняет положение передней поверхности относительно направления движения инструмента (рис. 3) и, как следствие, изменяются размеры и зона стружкообразования. В результате, существенно уменьшается угол действия и возрастает угол сдвига, что сопровождается уменьшением деформации, усадки стружки, удельной работы и силы резания. При этом уменьшается ширина контакта стружки с передней поверхностью лезвия, исключается наростообразование. Длина контакта стружки с передней поверхностью увеличивается.

Изменение процесса стружкообразования при скользящем резании приводит к изменению термического режима процесса резания, уменьшается теплота деформации, теплота трения на передней поверхности рабочей части инструмента и средняя температура

Образовавшаяся трещина перемещается одновременно с режущей кромкой в плоскости резания, а надрезанная часть припуска в плоскости стружкообразования движется по направлению угла схода стружки  $\eta$ , поднимаясь

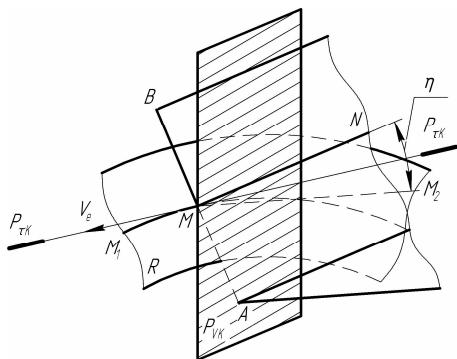


Рис. 3. Схема определения кинематического (рабочего) переднего  $\gamma_k$  в процессе скользящего резания

**ММ<sub>1</sub>**. Вектор результирующей скорости резания  $\bar{V}_e$  касателен к траектории рабочего движения в точке ***M*** режущей кромки ***AB***. Основная кинематическая плоскость ***P<sub>VK</sub>*** перпендикулярна к вектору результирующей скорости резания  $\bar{V}_e$ . Направление схода стружки ***MM<sub>2</sub>*** по поверхности резания ***R*** составляет с перпендикуляром ***MN*** к режущей кромке в точке ***M*** угол направления схода стружки ***η***, величина которого определяется  $\eta=90^\circ-\lambda_u$ , то есть зависит от инструментального угла наклона кромки  $\lambda_u$ . На основании изложенного выше, определение рабочего переднего угла  $\gamma_p$  для скользящего резания может формулироваться следующим образом: рабочим передним углом  $\gamma_p$  называется угол между плоскостью, перпендикулярной к вектору результирующей скорости резания ***P<sub>VK</sub>*** и касательной к передней поверхности лезвия инструмента в направлении схода стружки ***V<sub>w</sub>***. Рабочий передний угол  $\gamma_p$  измеряется в плоскости стружкообразования. При таком определении рабочего переднего угла его величина зависит не только от положения вектора результирующей скорости резания  $\bar{V}_e$  в поверхности резания ***R*** и величины инструментального переднего угла  $\gamma_u$ , но и от величины инструментального угла наклона кромки  $\lambda_u$ . При этом предполагается, что влияние на процесс скользящего резания инструментального переднего угла  $\gamma_u$  и инструментального угла наклона режущей кромки  $\lambda_u$  можно заменить влиянием только одного рабочего переднего угла  $\gamma_p$ , измеренного в упомянутом направлении.

Таблица 1. Параметры скользящего точения

Марка обрабатываемого материала	Параметры режима резания			Геометрические параметры инструмента				Параметры шероховатости			
	S, мм/об	V, м/мин	t, мм	$\lambda_u$ , град	$\gamma_u$ , град	$\beta_u$ , град	$\alpha_u$ , град	R <sub>a</sub> , мкм	R <sub>z</sub> , мкм	S, мкм	Sm, мкм
Сталь 45	0,07	200	1	80	12	66	12	0,179	1,1	7,96	24,5

Формула для расчета кинематического угла заострения [4] позволяет определить, насколько происходит «кинематическое заострение» рабочего угла  $\beta_p$  при уже упомянутых величинах углов  $\lambda_u$  и  $\eta$  и инструментальном угле заострения  $\beta_u$ .

$$\beta_p = \beta_u = \arctg [\operatorname{tg} \beta_u \cdot \cos(\lambda_u - \eta)] = \arctg (\operatorname{tg} 66^\circ \cdot \cos 80^\circ) = 21^\circ$$

Таким образом, при скользящем резании рабочий угол заострения  $\beta_p$  более чем в три раза стал острее, что также существенно улучшает процесс стружкообразования.

**Заключение:**

Показана принципиальная особенность процесса стружкообразования при скользящем резании материалов.

Дано объяснение охрупчиванию обрабатываемого материала в контактной зоне с позиции скорости его деформации.

Показано на конкретном примере на сколько увеличивается рабочий передний угол  $\gamma_p=50^\circ$  и «кинематическое заострение» рабочего угла заострения  $\beta_p=21^\circ$ , что существенно улучшает процесс стружкообразования.

Выведены формулы для теоретического расчета угла направления схода стружки  $\eta$  при скользящем резании.

**Список литературы:**

1. Матвеев В.С. Классификация видов сливной стружки // Пути интенсификации производственных процессов при механической обработке. – Томск, 1979. – С.12-16.
2. Lierath F., Knoche H. etc Ausgewahlte Aspekte des Hochgeschwindigkeitsfräsen // Сб. науч. тр. Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. Серия Г: Процессы механической обработки, станки и инструменты. - К.: 2002. -Р. 103- 118
3. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. - М.: Высшая школа, 1985. -304с.
4. Марунич В.А. Новый процесс скользящего резания материалов. / Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. науч. трудов. – Донецк, 2009. – вып. 38. – С.133-138.
5. Марунич В.А. Новая закономерность отделения срезаемого слоя при механической обработке материалов // Теория и практика металлургии. - Днепропетровск : НМетАУ, 2011, №5-6 Ч.1 – С. 40-47.
6. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. М.: Машиностроение, 1975, 344 с.
7. Ящерицын П.И., Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А. Теория резания. – Минск – Москва: Новое знание, 2007. – 512с.

Надійшла до редколегії 16.06.2012 р.

**V. Marunich**  
**THE KINEMATICS CHIP AT SLIDING**  
**CUTTING OF MATERIALS**

*In the article the features of kinematics of chip making are considered at the sliding cutting of materials. Explaining to the embrittlement of the processed material is Given in a contact zone from position of speed deformation. It is shown on a concrete example on how many a working front corner increases  $\gamma_p=50^\circ$  and "kinematics sharpening" of working corner of sharpening  $\beta_p=21^\circ$ , that improves the process of chip making substantially.*

**Key words:** kinematics of chip making, sliding cutting, rate of tensile deformation, rate of compressive deformation.

**В.О. Марунич**  
**КІНЕМАТИКА**  
**СТРУЖКОУТВОРЕННЯ ПРИ КОВЗНОМУ**  
**РІЗАННІ МАТЕРІАЛІВ**

*В статті розглянуто особливості кінематики стружкоутворення при ковзному різанні матеріалів. Дано пояснення окрихчуванню оброблюваного матеріалу в контактній зоні з позиції швидкості його деформації. Показано на конкретному прикладі на скільки збільшується робочий передній кут  $\gamma_p=50^\circ$  і "кінематичне загострення" робочого кута загострення  $\beta_p=21^\circ$ , що істотно покращує процес стружкоутворення.*

**Ключові слова:** кінематика стружкоутворення, ковзне різання, швидкість деформації розтягнення, швидкість деформації стискування.