Определение деформированного состояния стружки при резании материала с неоднородными свойствами

01, январь 2013

DOI: 10.7463/0113.0541311

Ярославцева Н. А.

УДК 621.9.011

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

mt13@bmstu.ru

Инновационное развитие технологий изготовления деталей машин определяется, прежде всего, применением прогрессивных методов обработки, в том числе комбинированных, основанных на использовании дополнительных источников энергетического воздействия на обрабатываемый материал в зоне обработки. Одним из них является метод резания с опережающим пластическим деформированием (ОПД) [1, 2, 3, 4, 5 и др.], разработанный в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Сущность метода резания с ОПД заключается в целенаправленном изменении физико-механических свойств материала срезаемого слоя путем его предварительного пластического деформирования дополнительным механическим источником энергии, в качестве которого могут служить разные методы поверхностного пластического деформирования (ППД): накатывание роликом, ультразвуковое упрочнение, чеканка, выплачивание, центробежная обработка. В результате материал припуска приобретает новые физико-механические свойства (предел текучести σ_T , пластичность δ , твердость и др.), крайне неравномерно распределенные по толщине срезаемого слоя (рис. 1).

Рис. 1. Распределение микротвердости H_{50} по толщине a срезаемого слоя после воздействия накатного ролика при резании с ОПД

Эффективность метода резания с ОПД непосредственно связана с количественными характеристиками деформированного состояния материала в зоне стружкообразования и особенностями распределения деформаций по сечению среза, напрямую влияющими на показатели обрабатываемости резанием.

Известным способом экспериментального определения больших пластических деформаций при резании металлов является метод делительных сеток, Методом делительных сеток установлено, что деформированное состояние материала при резании в большинстве случаев можно рассматривать практически плоским, а вид деформации соответствующим простому сдвигу [6, 7]. Однако, эти данные получены на образцах с однородными физико-механическими свойствами материала по толщине срезаемого слоя.

Условия стружкообразования при резании с ОПД, существенно отличаются от условий обычного резания, в силу того, что срезаемый слой подвергается последовательно двум большим пластическим деформациям с разным механизмом воздействия на материал (ППД и резание), и характеризуется высоким градиентом физико-механических свойств по толщине среза, Создание высокоэффективных технологий с помощью метода ОПД за счет научно обоснованного управления условиями обработки вызывает необходимость

исследования особенностей деформированного состояния материала в зоне стружкообразования при резании с ОПД.

Определение деформированного состояния материала в зоне стружкообразования осуществляли путем построения математической модели смещения отдельных элементарных объемов материала срезаемого слоя в зоне стружкообразования и экспериментального исследования зоны резания с последующим сравнительным анализом полученных результатов.

В статье представлены аналитические зависимости для расчетного определения геометрических параметров и ориентации в корне стружки прямоугольной делительной сетки после двух последовательных больших пластических деформаций (ППД и резание), картина деформированного состояния материала, полученная методом делительных микросеток (сторона квадрата ячейки сетки равна 60 мкм). Приводится сопоставление расчетных картин деформаций и соответствующих экспериментальных величин, зафиксированных в зоне стружкообразования. Расчетная схема для определения деформированного состояния обрабатываемого материала прямоугольной делительной сетки в процессе резания показана на рис. 2.

Рис. 2. Расчетная схема для определения деформации прямоугольной делительной сетки

Согласно существующим современным представлениям науки о резании процесс образования стружки осуществляется в переходной пластически деформируемой зоне (зоне первичных деформаций), где материал срезаемого слоя претерпевает деформацию сдвига. При применяемых на практике условиях резания эта зона является очень узкой (тысячные-сотые доли мм), поэтому при вычислениях значения величины конечной пластической деформации ее принято представлять в виде условной плоскости сдвига OA (см. рис. 2), которая наклонена к поверхности резания под углом сдвига β [6, 7]. Угол сдвига определяет направление и величину пластической деформации в зоне стружкообразования. Предположение о деформации простого сдвига в зоне резания означает, что в переходной пластически деформируемой зоне смещение всех элементарных объемов материала происходит параллельно плоскости сдвига OA .

Нами было сделано предположение, что при удалении материала с ярко выраженной неоднородностью свойств по толщине срезаемого слоя, как это имеет место при резании с ОПД, процесс стружкообразования и в этом случае подчиняется условиям простого сдвига, когда смещение всех точек происходит параллельно одной оси.

Рассмотрим изначально деформацию одной ячейки $ABFE$ (см. рис. 2) прямоугольной сетки со стороной квадрата d_0 при обычном свободном резании (без ОПД), исходя из предположения, что стружка образуется сливная и нарост отсутствует.

Пусть для перемещения т. B , которое осуществляется со скоростью резания v , в положение т. C на плоскости сдвига необходимо время t_0 , т.е. $BC/t_0 = v$. За это же время т. A на наружной поверхности стружки сместится на расстояние AD , причем $AD/t_0 = v_c$, где v_c – скорость движения стружки по передней поверхности инструмента. В результате таких перемещений вертикальный отрезок прямой AB займет в стружке положение DC . Положение отрезка DC относительно плоскости сдвига AC характеризует ориентацию координатной сетки после пластической деформации и может определяться углом δ . Требуется найти аналитическую зависимость для угла δ и геометрию деформированной сетки.

Из записанных выше равенств для скоростей v и v_c следует, что

$$\frac{BC}{AD} = \frac{v}{v_c} \quad (1)$$

В рассматриваемом случае отношение $v/v_c = K_l$, где K_l – коэффициент укорочения стружки, равный

$$K_l = \frac{\cos(\beta - \gamma)}{\sin \beta} \quad (2)$$

и, следовательно, равенство (1) можно представить в виде

$$AD = BC \frac{\sin \beta}{\cos(\beta - \gamma)}.$$

Из треугольника ABC отрезок BC выражается через параметр делительной сетки (сторона квадрата сетки) d_0 :

$$BC = d_0 \operatorname{ctg} \beta.$$

Таким образом

$$AD = d_0 \frac{\cos \beta}{\sin(\beta - \gamma)}. \quad (3)$$

Аналогично получаем значение AC

$$AC = \frac{d_0}{\sin \beta}. \quad (4)$$

С другой стороны, применяя теорему косинусов, из треугольника ACD можно записать

$$DC^2 = AD^2 + AC^2 - 2AD \cdot AC \cos(\pi/2 + \beta - \gamma)$$

или

$$DC^2 = AD^2 + AC^2 + 2AD \cdot AC \sin(\beta - \gamma), \quad (5)$$

а также

$$DC^2 = AD^2 - AC^2 + 2AD \cdot DC \cos \delta \quad (6)$$

Приравнивая правые части уравнений (5) и (6), получаем зависимость для угла δ :

$$\delta = \arccos \frac{AC + AD \sin(\beta - \gamma)}{DC}. \quad (7)$$

Величина DC определяется из формулы (5) при подстановке в нее выражений (3) и (4) для AD и AC, т.е.

$$DC = d_0 \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \beta} + \frac{\cos^2 \beta}{\cos^2(\beta - \gamma)} + 2tg(\beta - \gamma)ctg\beta}. \quad (8)$$

Таким образом, заменяя в формуле (7) AD, AC и DC их значениями из (3), (4) и (8), после преобразований имеем окончательное выражение угла δ , который образуют вертикали прямоугольной координатной сетки в срезаемом слое с направлением сдвига в конечном деформированном состоянии с направлением сдвига

$$\delta = \arccos \frac{\frac{1}{\sin \beta} + \cos \beta \cdot tg(\beta - \gamma)}{\sqrt{\frac{1}{\sin^2 \beta} + \frac{\cos^2 \beta}{\cos^2(\beta - \gamma)} + 2tg(\beta - \gamma)ctg\beta}}. \quad (9)$$

Величина DC – отрезок AB сетки в результате деформации – может быть определен по формуле (8) или при известном значении δ вычислен, воспользовавшись равенством, которое следует из рис. 2

$$DC = \frac{d_0}{\sin \beta [\cos \delta - tg(\beta - \gamma) \sin \delta]}, \quad (10)$$

Последующее смещение режущего клина вызовет плоскопараллельное перемещение прямой DC в направлении вектора скорости стружки v_c и через некоторый отрезок времени $t_1 = d_0/v$ прямоугольная ячейка сетки трансформируется в параллелограмм $CC'D'D$, у которого

$$\frac{CC'}{v_c} = \frac{d_0}{v} \quad \text{или} \quad CC' = DD' = \frac{d_0}{K_l} = d_0 \frac{\sin \beta}{\cos(\beta - \gamma)},$$

т.е. горизонтальные участки сетки величиной d_0 будут иметь в стружке длину

$$CC' = DD' = d_0 \frac{\sin \beta}{\cos(\beta - \gamma)}. \quad (11)$$

Из рис. 2 можно записать и значения углов деформированной ячейки сетки

$$\begin{aligned} \angle DD'C' &= \angle DCC' = \pi/2 - \beta - \delta + \gamma \\ \angle D'DC &= \angle CC'D' = \pi/2 + \beta + \delta - \gamma \end{aligned} \quad (12)$$

Формулы (8) – (12) полностью определяют геометрию одной ячейки прямоугольной координатной сетки со стороной квадрата d_0 в деформированном состоянии и ориентацию ее относительно плоскости сдвига. Очевидно, что для принятых условий стружкообразования это равнозначно определению конфигурации всей координатной сетки срезаемого слоя.

Используя аналогичный прием, при тех же допущениях можно найти геометрические параметры координатной сетки в стружке и после ее предварительной пластической деформации дополнительным механическим источником энергии до момента резания.

Рассмотрим деформацию ячейки AB_1F_1E , имеющую форму параллелограмма (см. рис. 2), т.е., учитывая микромасштаб координатной делительной сетки на исследуемых образцах, примем для простоты, что кривизна боковых сторон предварительно деформированной ячейки равна нулю.

Как и в приведенном выше решении (без учета ППД), при смещении в процессе резания т. B_1 в т. C участок AB_1 ячейки сетки займет в стружке положение CD_1 под углом δ_1 ($\delta_1 < \delta$) к плоскости сдвига AC . Из треугольника AD_1C находится угол δ_1 – см. (7):

$$\delta = \arccos \frac{AC + AD_1 \sin(\beta - \gamma)}{CD_1}. \quad (13)$$

Значения отрезков AD_1 , AC и CD_1 определяются из расчетной схемы (см. рис. 3). Очевидно:

$$\frac{B_1C}{AD_1} = \frac{v}{v_c} = K_l = \frac{\cos(\beta - \gamma)}{\sin \beta},$$

откуда

$$AD_1 = B_1C \frac{\sin \beta}{\cos(\beta - \gamma)}, \quad B_1C = BC - BB_1, \text{ причем } BC = AB \operatorname{ctg} \beta$$

и, следовательно,

$$AD_1 = AB \left(\operatorname{ctg} \beta - \frac{BB_1}{AB} \right) \frac{\sin \beta}{\cos(\beta - \gamma)}; \quad (14)$$

$$AC = AB \frac{1}{\sin \beta}; \quad (15)$$

$$CD_1 = \sqrt{AD_1^2 + AC^2 + 2AD_1AC \sin(\beta - \gamma)},$$

или, с учетом (14) и (15)

$$CD_1 = AB \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \beta} + \frac{1}{\cos^2(\beta - \gamma)} (\cos \beta - \frac{BB_1}{AB} \sin \beta)^2 + 2tg(\beta - \gamma)(ctg \beta - \frac{BB_1}{AB})}. \quad (16)$$

Подставляя найденные значения AD_1 и AC согласно (14) и (15) в формулу (13) для δ_1 , получим

$$\delta_1 = \arccos \frac{AB \left[\frac{1}{\sin^2 \beta} + tg(\beta - \gamma) \left(\cos \beta - \frac{BB_1}{AB} \sin \beta \right) \right]}{CD_1}. \quad (17)$$

Здесь величина отрезка CD_1 находится по формуле (16).

Отношение BB_1 / AB в формулах (16) и (17) можно представить как $tg \omega$, где ω – угол, характеризующий степень (меру) искажения координатной сетки в срезаемом слое (рис. 3); в этом случае формула (17) будет иметь вид:

$$\delta_1(\omega) = \arccos \frac{\frac{1}{\sin \beta} + tg(\beta - \gamma)(\cos \beta - tg \omega \sin \beta)}{\sqrt{G(\omega)}}, \quad (18)$$

где

$$G(\omega) = \frac{1}{\sin^2 \beta} + \frac{1}{\cos^2(\beta - \gamma)} (\cos \beta - tg \omega \sin \beta)^2 + 2tg(\beta - \gamma)(ctg \beta - tg \omega).$$

Выражения для других геометрических параметров ячейки AB_1F_1E после ее деформации подобны тем, которые получены в ранее рассмотренном случае. Так, горизонтальные отрезки AF и B_1F_1 трансформируются в малые (при $\beta < \pi/4$) стороны параллелограмма $D_1D_1'CC$, равные

$$D_1D_1' = CC' = \frac{d_0}{K_l} = d_0 \frac{\sin \beta}{\cos(\beta - \gamma)}. \quad (19)$$

Значения внутренних углов составляют:

$$\angle D_1D_1'C' = \angle D_1CC' = \pi/2 - \beta + \gamma - \delta_1(\omega) \quad (20)$$

$$\angle D_1'C'C = \angle CD_1D_1' = \pi/2 + \beta - \gamma + \delta_1(\omega)$$

Применение полученных аналитических зависимостей (16)-(20) возможно при относительно небольших размерах ячеек координатной сетки, когда в пределах одной ячейки можно пренебречь кривизной вертикальных полос исходной сетки после предварительной деформации срезаемого слоя и заменить их отрезками прямых соответствующей ориентации. Если в конкретном случае искажения координатной сетки на боковой поверхности образца или отдельных ее участков не допускают такого спрямления, то при теоретическом построении деформационной картины можно воспользоваться графическим делением реальных ячеек в срезаемом слое на число частей, обеспечивающее получение необходимой точности построения.

В тех случаях, когда деформационная картина сетки в срезаемом слое задается аналитическими зависимостями, формулы (17) или (18) для δ_1 целесообразнее представить в дифференциальном виде, в результате чего можно значительно сократить объем соответствующих вычислений.

Пусть одна из вертикалей координатной сетки после деформации срезаемого слоя накатным устройством описывается некоторой непрерывной функцией $\Omega(y)$ рис. 2; ось y перпендикулярна обрабатываемой поверхности и направлена внутрь тела, ось Ω расположена в плоскости обрабатываемой поверхности параллельно вектору скорости v . В результате деформации в процессе стружкообразования рассматриваемая кривая $\Omega(y)$ изменяет конфигурацию и в косоугольной координатной системе $\Omega_1 O_1 y_1$ (ось $O_1 y_1 \parallel OA$) будет определяться новой зависимостью $\Omega_1 = f_1(y_1)$. Возьмем на кривой $\Omega(y)$ произвольную точку $M_0(y_0; \Omega_0)$. Изменение абсциссы y_0 на некоторую величину Δy_0 вызовет соответствующее приращение ординаты $\Delta \Omega_0$. Если через точки $M_0(y_0; \Omega_0)$ и $M_{01}(y_0 + \Delta y_0; \Omega_0 + \Delta \Omega_0)$ провести секущую $M_0 M_{01}$, то ее угловой коэффициент с положительным направлением оси y находится как

$$\operatorname{tg} \omega_1 = \lim_{\Delta y_0 \rightarrow 0} \frac{\Delta \Omega_0}{\Delta y_0} \quad \text{при} \quad \Delta y_0 \rightarrow 0.$$

Очевидно, что задача определения ориентации секущей $M_0 M_{01}$ за плоскостью сдвига OA ничем не отличается от уже рассмотренного случая, а формула для вычисления угла δ при новых обозначениях может быть получена простой заменой в выражении (17) отношения BB_1/AB на $\Delta \Omega_0/\Delta y_0$. При стремлении приращения Δy_0 к 0 в пределе вместо секущей $M_0 M_{01}$ получим касательную к кривой $\Omega(y)$ в точке M_0 , угловой коэффициент которой является производной

$$\frac{d\Omega_0}{dy_0} = \lim_{\Delta y_0 \rightarrow 0} \frac{\Delta \Omega_0}{\Delta y_0} \text{ при } \Delta y_0 \rightarrow 0.$$

Положение этой касательной в стружке определится при подстановке в формулу (17) вместо отношения BB_1/AB производной $d\Omega_0/dy_0$. Нетрудно показать, что касательная к кривой $\Omega(y)$ остается касательной и к деформированной кривой $\Omega_1(y_1)$ в стружке. Действительно, если на рис. 3 точки M_1 и M_{11} кривой $\Omega_1(y_1)$ соответствуют точкам M_0 и M_{01} в срезаемом слое, то при $\Delta y_0 \rightarrow 0$ как секущая $M_0M_{01} \rightarrow 0$, так и $M_1M_{11} \rightarrow 0$. Предельные положения этих секущих и будут касательными к кривым $\Omega(y)$ и $\Omega_1(y_1)$ в соответствующих точках M_0 и M_1 .

Таким образом, если функция $\Omega = f(y)$ на исследуемом участке $0 \leq y \leq a$ (a – толщина срезаемого слоя) является дифференцируемой, то каждой точке кривой $\Omega(y)$ соответствует определенное значение угла

$$\delta(y) = \arccos \frac{\frac{1}{\sin \beta} + tg(\beta - \gamma)(\cos \beta - \sin \beta \frac{d\Omega}{dy})}{\sqrt{G(y)}}. \quad (21)$$

Через $G(y)$ обозначено

$$G(y) = \frac{1}{\sin^2 \beta} + \frac{1}{\cos^2(\beta - \gamma)} (\cos \beta - \sin \beta \frac{d\Omega}{dy})^2 + 2tg(\beta - \gamma)(ctg \beta - \frac{d\Omega}{dy}).$$

Выражение $\delta(y)$ представляет собой семейство направлений, которые составляют касательные кривой $\Omega(y)$ по отношению к плоскости сдвига после деформации в процессе стружкообразования.

Следует отметить, что каждая точка $M(y, \Omega)$ кривой $\Omega(y)$ после деформации определяется в координатной системе $\Omega_1 O_1 y_1$ новым значением абсциссы y_1 , которое зависит от угла сдвига β и составляет

$$y_1 = \frac{y}{\sin \beta}. \quad (22)$$

Необходимость пересчета положения соответствующих точек в срезаемом слое и стружке можно исключить, если зависимости $\Omega(y)$ и $\Omega_1(y_1)$ представить как функции новой переменной η , записанной в безразмерном виде. Пусть $\eta = y/a$ ($0 \leq \eta \leq 1$)

$$\eta_1 = \frac{y_1}{OA} = \frac{y_1 \sin \beta}{a}$$

или, учитывая (22), получим: $\eta_1 = \frac{y}{a} = \eta$.

В соответствии с этим, для вычисления угла δ можно воспользоваться формулой:

$$\delta(\eta) = \arccos \frac{\frac{1}{\sin \beta} + \operatorname{tg}(\beta - \gamma)(\cos \beta - \sin \beta \frac{d\Omega}{d\eta})}{\sqrt{G(\eta)}}. \quad (23)$$

Здесь

$$G(\eta) = \frac{1}{\sin^2 \beta} + \frac{1}{\cos^2(\beta - \gamma)} (\cos \beta - \sin \beta \frac{d\Omega}{d\eta})^2 + 2\operatorname{tg}(\beta - \gamma)(\operatorname{ctg} \beta - \frac{d\Omega}{d\eta}).$$

Используем найденные математические зависимости для анализа деформированного состояния корней стружек при различных условиях обработки резанием (с ОПД и обычном резании).

На микрофотографиях рис. 3 совмещены вычисленные по формулам (16), (18), (19) геометрические параметры отдельных ячеек сетки с соответствующими элементами делительной микросетки, экспериментально полученной в корне стружки. Угол сдвига β и искажение вертикалей сетки после обкатки $\operatorname{tg} \omega$, которые входят в расчетные формулы, определяли непосредственными измерениями на микрофотографиях. В таблице приведены использованные при вычислениях значения углов β и γ , а также для ряда выбранных значений $\operatorname{tg} \omega_{i \ i+1}$ дается сопоставление расчетных величин δ со средними экспериментальными значениями. Угловые коэффициенты искажения вертикалей координатной сетки $\operatorname{tg} \omega_{i \ i+1}$ и соответствующие величины угла δ_i определялись для отрезков прямых 1-2, 2-3, ... $i - i+1$, ... (см. рис. 3), проведенных через вершины 1, 2, 3, ... i , ... отпечатков, образующих делительную сетку. Математические зависимости (16), (18), (19) не учитывают контактных деформаций в слоях стружки, прилегающих к передней поверхности инструмента. Поэтому вычисления выполнялись лишь для той части стружки по ширине, на которой не наблюдается непосредственного влияния контактных процессов, проявляющихся в виде дополнительных искажений делительной сетки.

Таблица

Микро- фото- графия	Участок ($i, i+1$)	Угол сдвига β , град.	Передний угол, γ , град.	Искажение координат- ной сетки $\operatorname{tg} \omega_{i, i+1}$	Расчетная величина δ_p , град	Экспери- менталь- ное зна- чение δ_s , град	$\delta_s - \delta_p$, град. (прибли- женно)
Рис. 2, а		32	4		$19^\circ 56'$	22	+ 2
Рис. 2, б	1-2	34	4	1,4	$1^\circ 24'$	$6^\circ 30'$	+ 5
	2-3			0,89	$9^\circ 30'$	10	+ $0^\circ 30'$
	3-4			0,72	$11^\circ 50'$	12	0
	4-5			0,48	$14^\circ 54'$	13	- 2
Рис. 2, в		36	18		$22^\circ 24'$	21	- $1^\circ 30'$
Рис. 2, г	1-2	38	18	0,4	$16^\circ 40'$	19	+ $2^\circ 20'$
	2-3			0,17	$20^\circ 10'$	22	+ $1^\circ 50'$
	3-4			0,0	$22^\circ 42'$	23	0
Рис. 2, д	1-2	34	18	0,51	$15^\circ 35'$	18	+ $2^\circ 30'$
	2-3			0,30	$18^\circ 30'$	20	+ $1^\circ 30'$
	3-4			0,175	$21^\circ 06'$	22	+ 1

Сравнивая картины деформаций на рис. 3, а также данные таблицы, можно сделать вывод, что расчетная модель деформаций в корнях стружек и деформации, полученные экспериментальным путем, как при обычном резании (рис. 3 а, в), так и резании с ОПД (рис. 3 б, г, д) вполне удовлетворительно совпадают. Это означает, что при обработке с ОПД деформированное состояние срезаемого слоя материала подобно обычному резанию является результатом преимущественной деформации простого сдвига в направлении условной плоскости сдвига. Следовательно, несмотря на высокую неоднородность физико-механических свойств материала срезаемого слоя после поверхностного упрочнения, исследование стружкообразования при обработке с ОПД может осуществляться на базе существующих представлений механики обычного процесса резания.

Рис. 3, а-д. Микрофотографии деформированного состояния прямоугольной делительной микросетки в корнях стружки ($\times 487$)

а – 12Х18Н9Т (обычное резание); *б* – 12Х18Н9Т (резание с ОПД); *в* – 40ХСШ (обычное резание); *г* – 40ХСШ (резание с ОПД); *д* – ХН77ТЮР (резание с ОПД)

Вместе с этим, рассматривая представленные в таблице численные значения углов δ , можно отметить и некоторые особенности распределения деформаций в корнях стружек при резании по наклепанному слою (см. рис. 3 б, г, д). Так, участки координатной сетки, расположенные вблизи наружной границы стружки, имеют завышенные значения угла δ по сравнению с теоретически вычисленными значениями. Увеличение угла δ означает снижение степени деформации материала. Есть основание полагать, что отмеченное несовпадение расчетных и опытных значений δ является закономерным. Принятые при вычислениях положения условных плоскостей сдвига на рис. 3, проходящих через режущую кромку и линию пересечения наружных поверхностей срезаемого слоя и стружки, усредняют действительные направления сдвигов в переходной пластически деформируемой зоне, т.е. в этом случае, как и при обычном резании, предполагается одинаковая деформация по ширине стружки. Однако, при обработке с ОПД верхние наиболее упрочненные обкаткой слои срезаемого материала в меньшей степени склонны к пластической деформации, чем ниже расположенные слои, что и отражают представленные в таблице результаты измерений.

Таким образом, при резании материала после его поверхностного упрочнения в процессе стружкообразования происходит некоторое выравнивание деформированного состояния, когда наклепанные слои материала испытывают меньшие пластические деформации.

Список литературы

1. Ярославцев В.М., Ярославцева Н.А., Подураев В.Н. Способ обработки резанием : а.с. № 358089 (СССР). 1972. Бюл. № 34.
2. Ярославцев В.М. Способ обработки резанием с опережающим пластическим деформированием : а.с. № 407648 (СССР). 1972. Бюл. № 47.
3. Ярославцева Н.А. Исследование влияния напряженного состояния материала на процесс резания // Известия ВУЗов. Машиностроение. 1971. № 2. С. 186-189.
4. Подураев В.Н., Ярославцев В.М., Ярославцева Н.А. Эффективность обработки резанием с опережающим пластическим деформированием // Вестник машиностроения. 1972. № 12. С. 58-61.
5. Ярославцев В.М. Резание с опережающим пластическим деформированием: учеб. пособие по курсу «Перспективные технологии реновации». М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 46 с.
6. Развитие науки о резании металлов / В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. М.: Машиностроение, 1967. 416 с.
7. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. М.: Машиностроение, 1975. 344 с.

Determining the deformity of cutting waste during cutting a material with heterogenous properties

01, January 2013

DOI: 10.7463/0113.0541311

Yaroslavceva N.A.

Russia, Bauman Moscow State Technical University
mt13@bmstu.ru

In this article the author presents analytical dependences for determination of geometrical parameters and orientation in the root of cutting waste of a rectangular dividing grid after two consecutive great inelastic deformations (surface plastic deformation and cutting). Images of deformed condition of a material, obtained during real processing by means of the micro-coordinate dividing grid method (square side of a grid cell is equal to 60 μ m), are also presented in the article. The author also compares estimated eformities and corresponding experimental data recorded in the area of chip formation for materials of different machinability groups. It was established that during cutting of materials with surface deformation, deformation values were redistributed across the thickness of cutting waste; relative smoothing of deformation degree across the section of a layer being cut also occurs.

Publications with keywords: [advancing plastic deformation](#), [non-uniform properties of a material](#), [a deformation kind](#), [settlement model of deformation](#), [shaving formation](#), [deformed condition](#)

Publications with words: [advancing plastic deformation](#), [non-uniform properties of a material](#), [a deformation kind](#), [settlement model of deformation](#), [shaving formation](#), [deformed condition](#)

References

1. Iaroslavtsev V.M., Iaroslavtseva N.A., Poduraev V.N. *Sposob obrabotki rezaniem* [Method of processing by cutting]. Author's certificate USSR, no. 358089, 1972.
2. Iaroslavtsev V.M. *Sposob obrabotki rezaniem s operezhaiushchim plasticheskim deformirovaniem* [Method of processing by cutting with outrunning plastic deformation]. Author's certificate USSR, no. 407648, 1974.

3. Iaroslavtseva N.A. Issledovanie vliianiia napriazhennogo sostoiianiia materiala na protsess rezaniia [Investigation of influence of the stress state of the material on process of cutting]. *Izvestiia VUZov. Mashinostroenie*, 1971, no. 2, pp. 186-189.
4. Poduraev V.N., Iaroslavtsev V.M., Iaroslavtseva N.A. Effektivnost' obrabotki rezaniem s operezhaiushchim plasticheskim deformirovaniem [The efficiency of processing by cutting with outrunning plastic deformation]. *Vestnik mashinostroeniia*, 1972, no. 12, pp. 58-61.
5. Iaroslavtsev V.M. *Rezanie s operezhaiushchim plasticheskim deformirovaniem* [Cutting with advanced plastic deformation]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2010. 46 p.
6. Bobrov V.F., Granovskii G.I., Zorev N.N., et al. *Razvitie nauki o rezanii metallov* [The development of the science of cutting metals]. Moscow, Mashinostroenie, 1967. 416 p.
7. Bobrov V.F. *Osnovy teorii rezaniia metallov* [Fundamentals of the theory of metal cutting]. Moscow, Mashinostroenie, 1975. 344 p.