

диагностики и прогнозирования надежности авиадвигателей: Монография. – Запорожье: ОАО «Мотор-Сич», 2003. - 279 с.; 7. Куравский Л.С., Баранов С.Н., Малых С.Б. Нейронные сети в задачах прогнозирования, диагностики и анализа данных: Учеб. Пособие. - М.: РУСАВИА, 2003. - 100 с.

Сдано в редакцию 29.01.07

ОБ ИСТИННОЙ СТЕПЕНИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛА ПРИ РЕЗАНИИ

Христафорян Э.С., (HARVAL ENGINEERING, Ереван, Республика Армения)

Are investigated questions connected with the degree of the plastic deformation of material in the process of cutting. It is proven that the true plastic deformation of material must be characterized by the new measure of contraction considering area with which material it is implicated into the process of deformation.

Понятие коэффициент усадки стружки и характеризующее степень пластического деформирования материала в процессе резания принятое на основе положений о свободном резании материалов если и приемлемо в основном при обработке точением, то в иных методах резания часто её измерить или вообще невозможно, или, используя весовой метод, будет иметь усредненный характер, соответственно которой информация о процессе резания по основным параметрам будет усредненной, например при резании криволинейной режущей кромкой при зубодолблении, зубофрезеровании и др., тем более при шабрении круговым шабером, когда для всех точек контакта режущего лезвия с обрабатываемым материалов в зависимости от угла наклона шабера и радиуса режущего лезвия шабера меняются глубина резания, планы скоростей, действительная геометрия режущего клина и многое другое [1,2,3]. Разумеется, чтобы разобраться в столь сложном случае резания необходимо впервых определиться в принятой интерпретции степени пластического деформирования материала в процессе свободного резания.

Одновременно заметим, что понятие -площадь поперечного сечения стружки, с позиции принятого в теории резания понятия коэффициент усадки стружки, нам кажется, не достаточно корректным, так как ей придается только геометрический смысл, поэтому требуются уточнения с позиций выявления определенных закономерностей процес-

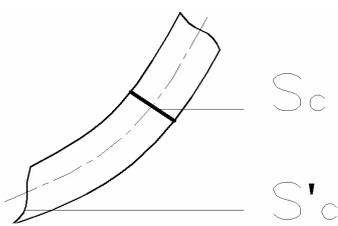


Рис.1. Элемент стружки

са пластического деформирования материала в области резания. На самом деле принятое определение правомерно лишь в случае лентообразной, без учета конфигурации линий текстуры, стружки, полученной по условной и максимально упрощенной модели сдвига по единственной плоскости - модели основоположника научного подхода к реологии резания Тиме, который оценивая состояние научных работ в области резания металлов указал впервые, что невозможно думать о рациональном и научно обоснованном способе обработки без детального изучения физических основ резания, в частности, основного вопроса – процесса образования стружки, который без истинной информации об усадке будет неполной. В большинстве случаев резания, стружка, в продольном сечении, имеет вид спирали или более сложной кривой и поэтому при одном и том же объеме стружки поверхности S_c и S'_c значительно отличаются по величине и надо полагать, что поверхность излома более адекватна для описания соотношений в области резания и процесса пластического деформирования материала в процессе резания (рис.1), где S_c - площадь по-

перечного сечения стружки в плоскости перпендикулярной её оси в данной точке оси, а S'_C - площадь поверхности излома стружки, которая несомненно больше поперечного в виду бесспорного факта - явной и особенной текстуры стружки, характеризуемой углом наклона текстуры- ε . Необходимо поверхность S'_C методически правильно определить.

Текстура области резания, безусловно, должна характеризовать кинематику и динамику материала в ней, так как конфигурация её есть их результат. Известно, что для идеализированной схемы процесса резания и замене области резания единственной плоскостью сдвига, явно облегчающей анализ результатов процесса резания, введено понятие усадка ξ_l -

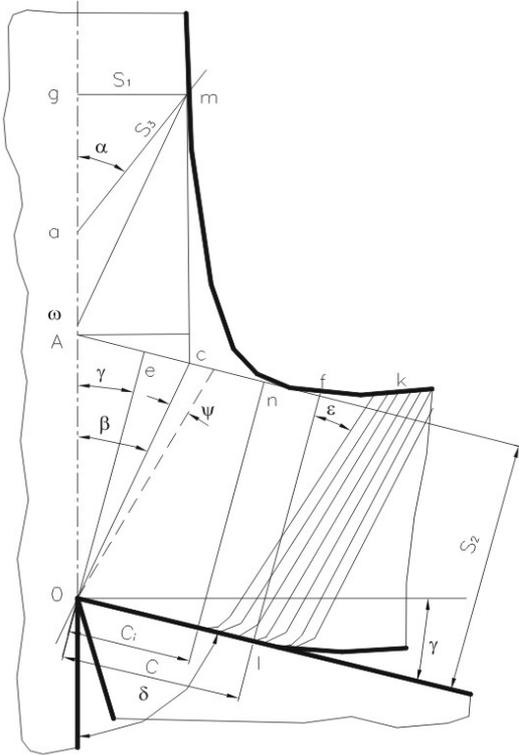


Рис.2. Геометрические соотношения в архитектуре области резания при свободном резании

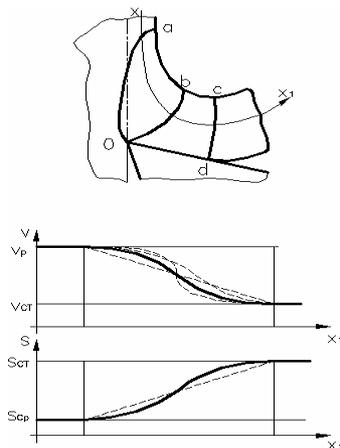


Рис.3. Закон изменения площади поверхности и скорости слоя вовлекаемого в процесс резания

отношение длин срезаемого слоя и образованной стружки или площадей поперечных сечений стружки S_1 и срезаемого слоя S_2 . Для анализа архитектуры области резания ξ_l мало информативна, так как известно, что обрабатываемый материал в точке q не претерпевает ещё деформирования и оно начинается в некоторой точке a , то есть поверхность S_1 не характеризует форму объема одновременно вовлекаемого в процесс пластического деформирования материала и не служит основой для определения истинной ξ_l (рис.2).

Известно, что область резания со стороны обрабатываемого материала ограничивается некоторой криволинейной поверхностью, проходящей через точки m и a (рис.1б). Проведем через них плоскость S_3 и воспользуемся полу-

ченным на основе энергетике процесса резания новым понятием усадки стружки равном $\xi_L = S_2/S_3$ и не совпадающем с известным ξ_l (1). Нетрудно заметить,

$$S_1/S_3 = \sin \alpha, \quad \sin \alpha = \xi_L/\xi_l, \quad 0$$

$$\xi_l = \cos(\beta - \gamma)/\sin \alpha = S_2/S_1 = S_2 \cos \gamma / \cos \gamma = OA/AC,$$

где ξ_L - характеризует увеличение поверхности, стягивающей слой вовлекаемого в область пластического деформирования обрабатываемого материала. Усадка

$$\xi_L = (1 - E_3/E)^{-0.5} = (1 - V_3^2/V_p^2)^{-0.5},$$

где E_3 - энергия затраченная на процесса пластического деформирования материала, E - энергия обрабатываемого материала, входящего в процесс пластического деформирования материала. Введем $V_3 = V_p - V_T$, где V_T - текущая скорость поверхности в области резания и в конце области $V_T = V_{cmp}$ - скорости стружки. Закон увеличения

поверхности, стягивающей слой обрабатываемого материала одновременно входящего

в область пластического деформирования материала представим графически (рис.3). Заметим, что зависимость характеризует соотношение площадей проведенных в области резания поверхностей, следовательно и область пластического деформирования материала и динамику взаимодействий в ней. Рассмотрим зависимость

$$\sin \alpha = \xi_L / \xi_l = \left[1 - (V_P^2 / V_C^2) / V_P^2 \right]^{0.5} / (V_P / V_C), \quad \text{то есть} \quad \alpha = \arcsin(2\xi_l - 1)^{0.5}.$$

Рассчитаем α для некоторых ξ_l . При $\gamma = 0$, $\xi_l = \text{ctg} \beta$, $S_2 / S_3 = \sin \alpha$, то есть

$$\text{ctg} \beta = \xi_l = (1 + \sin^2 \alpha) / 2 \sin^2 \alpha,$$

где α - угол характеризует наклон поверхности, с которой обрабатываемый материал вовлекается в процессе резания к направлению процесса резания (таб.1). Из ΔAOC имеем $OC^2 = AO^2 + AC^2 - 2AO \cdot AC \cos \delta$ и после преобразований получим

$$OC = S_1 (\xi_l^2 - 2\xi_l + 1)^{0.5} / \cos \gamma = a (\xi_l \cdot \varepsilon / \cos \gamma)^{0.5},$$

где $\varepsilon = (\xi_l^2 - 2\xi_l \sin \gamma + 1) / \xi_l \cos \gamma$ - относительный сдвиг. Если срезаемый слой имеет толщину a и ширину b , площадь плоскости сдвига будет равна $S_{OC} = ab (\xi_l \cdot \varepsilon / \cos \gamma)^{0.5}$.

Заметим, что знание величины S_{OC} явно упростит анализ динамики области резания, если учесть, что измерение ξ_l много точнее чем измерение угла β , то зависимости геометрии не включающие угол β расширят возможности анализа.

Таблица 1. Значения коэффициента усадки стружки - ξ_L , $\sin \alpha$ и α -угла наклона плоскости с которой материал вовлекается в процесс пластического деформирования в области резания при измеренных традиционным методом усадках стружки - ξ_l .

ξ_l	ξ_L	$\sin \alpha$	α	ξ_l	ξ_L	$\sin \alpha$	α
1,1	1,0042	0,9129	65° 54'	2,5	1,25	0,5	30°
1,2	1,0142	0,8451	57° 41'	3,0	1,3423	0,4474	28° 30'
1,4	1,0435	0,7453	48° 12'	3,5	1,4291	0,4083	25° 6'
1,6	1,0787	0,6742	42° 24'	4,0	1,511	0,3777	22° 10'
1,8	1,1156	0,6619	38° 18'	5,0	1,6666	0,3333	19° 30'
2,0	1,1574	0,5787	35° 18'	7,0	1,9417	0,2773	16° 6'
2,2	1,1931	0,5422	32° 51'	10,0	2,3	0,23	13° 12'

Сдвигающее напряжение

$$\tau = P_\tau / S_{OC} = P_\tau \cos \gamma / (ab (\xi_l^2 - 2\xi_l + 1))^{0.5}, \quad \tau = R \cos(\omega + \beta) \cos \gamma / ab (\xi_l^2 - 2\xi_l \sin \gamma + 1)^{0.5}.$$

Из ΔOAC $\sin \beta = \cos \gamma / (\xi_l^2 - 2\xi_l \sin \gamma + 1)^{0.5}$; $\cos \beta = (\xi_l - \sin \gamma) / (\xi_l^2 - 2\xi_l \sin \gamma + 1)^{0.5}$, т.е.

$$\tau = P_Z \cos^2 \gamma (\text{ctg} \beta - \text{tg} \omega) / ab (\xi_l^2 - 2\xi_l \sin \gamma + 1), \quad \text{tg} \omega = P_Y / P_Z = [(\xi_l - \sin \gamma) P_Z - P_Y \cos \gamma] / ab \xi_l \varepsilon.$$

Величины R -сила стружкообразования и ω -угол действия можно определить измерив составляющие силы резания. Сжимающую сдвигаемый слой силу $P_H = R \sin(\omega + \beta)$ и напряжения сжатия тоже можно представить зависимостью не включающей угол β

$$\sigma_H = R \sin \beta \sin(\omega + \beta) / ab = [P_Z \cos \gamma + P_Y (\xi_l - \sin \gamma)] / ab \xi_l \varepsilon.$$

Разделив на $\sin \alpha$, получим

$$\sin \beta / \sin \alpha = \cos \gamma [(2\xi_l - 1) / (\xi_l^2 - 2\xi_l \sin \gamma + 1)]^{0.5}; \quad \sin \beta = S_1 \sin \delta / OC;$$

преобразуя получим, что

$$S_3 = S_1 (2\xi_l - 1)^{0.5} / \cos \gamma = ab (2\xi_l - 1)^{0.5} / \cos \gamma.$$

Можно провести проверку на S_2

$$OC/S_2 = S_1 (\xi_l^2 - 2\xi_l \sin \gamma + 1)^{0.5} / \cos \gamma; \quad S_2 = S_1 \xi_l$$

Рассмотрим ряд дополнительных параметров геометрии области резания. Пользуясь схемой (рис.2) можно записать $mc = ao - a\omega$ и учитывая, что $OC = m\omega$, получим

$$a\omega = a \left\{ (tg^2 \alpha + 1) (\xi_l^2 - 2\xi_l \sin \gamma + 1) - 1 \right\}^{0.5} - [2(\xi_l - 1)]^{0.5} \quad \text{и}$$

$$mc = f(\sigma) - a \left\{ 2(\xi_l - 1) (\xi_l^2 - 2\xi_l \sin \gamma + 1) \right\}^{0.5} - 2(\xi_l - 1) / [2(\xi_l - 1)]^{0.5}.$$

Величина $\xi_l - 1 = (S_2 - S_1) / S_1$ - относительное утолщение или укорочение стружки при неизменной ширине, то есть полученные выражения могут быть представлены через ε . Здесь $f(\sigma) = oa$ - глубина проникновения в направлении резания пластического деформирования материала по линии oq , которую можно экспериментально установить для данного обрабатываемый материал. Величина $cf = lf - cl$, где $lf = C$ - длина контакта по передней грани режущего клина. Так как ΔOlc прямоугольный, то

$$Cl = a (\xi_l^2 - 2\xi_l \sin \gamma + 1 - \xi_l^2 \cos^2 \gamma)^{0.5} / \cos \gamma = a (1 - \xi_l \sin \gamma) \cos \gamma.$$

Условие, когда при некотором γ величина OC будет равна S_2 , т.е. углы $\gamma = \beta$, то $\xi_l^2 - 2\xi_l \sin \gamma + 1 - \xi_l^2 \cos^2 \gamma = 0$; $(\xi_l^2 \sin \gamma - 1) = 0$; $\xi_l = 1 / \sin \gamma$.

Отсюда следует, что при определенном соотношении $\angle \gamma$ и усадки стружки плоскость сдвига будет перпендикулярна передней грани режущего клина, т.е. на основе зависимости Тиме $\sin \beta$ должна быть равным $\sin \gamma$ если $cl = 0$. Проведем анализ полученного результата и рассмотрим схему (рис.4). Примем, что $\gamma = 0$ и $\beta_l = \beta_0$ и допуская, что $\angle \gamma \rightarrow \pi/2$, будет увеличиваться и $\angle \beta_l$, что отмечают бесспорные результаты теории резания. Поверхности сдвига OC_i не могут выйти из поверхности обрабатываемый материал и не зависимо от $\angle \gamma \cdot OC_i = a / \sin \beta_l$, т.е. для сохранения потока обрабатываемый материал в области резания величина S_2 - толщина стружки будет непрерывно снижаться, что свидетельствует о снижении ξ_l . При достижении $\angle \gamma \pi/2$ поверхность OC_i должна непрерывно уменьшаться и стать минимально возможной, то есть поперечному сечению срезаемого слоя, чему будет соответствовать $\xi_l = 1$ и $\beta = \pi/2$

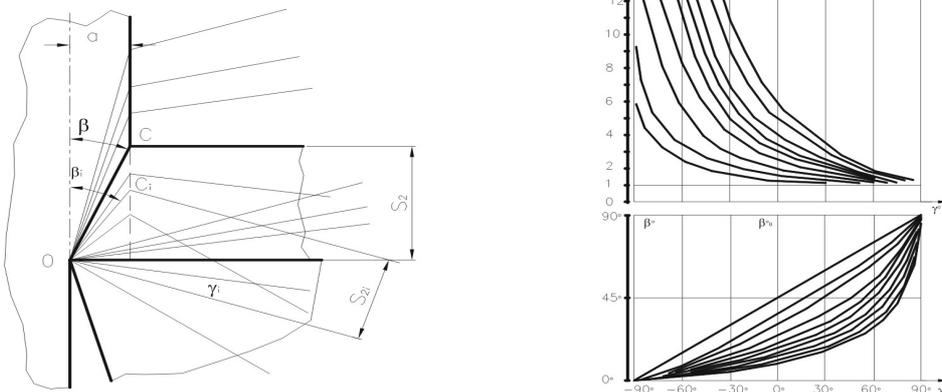


Рис.4. Схема (внизу) и графическая интер-претация (справа) изменений угла наклона условной плоскости сдвига - β и усадки стружки ξ_l от изменения угла γ

или пластическое деформирование материала должно отсутствовать если в обрабатываемый материал внедряется плоскость, т.к. здесь нет созидających причин - наличие нормального давления на плоскость и трения. Если $\gamma \rightarrow -\pi/2$, то поверхность OC_i возрастает, а $\angle\beta \rightarrow 0$, т.е. ξ_l и $OC_i \rightarrow \infty$ и если $\gamma \in [-\pi/2; \pi/2]$, $\angle\beta$ не станет равным или больше γ в силу нарушения объективных законов, то есть $\xi_l = 1/\sin \gamma$ будет соответствовать условию $\gamma = \pi/2$ и $\xi_l = 1$.

Полученные результаты можно представить графически (рис.4). Точка $\arctg \xi_0$ соответствующая ξ_l при обработке данного материала режущим клином с $\angle\gamma = 0$ всегда будет ниже точки $\pi/4$ на оси β , т.к. при этом ξ_l не может быть равной 1. Если в процессе резания $\xi_l < 1$, то это свидетельствует о нарушении сплошности потока вещества в области резания и стружки. Рассмотрим зависимость Н.Г.Абуладзе для определения величин пластического и упругого контакта стружки с передней гранью режущего клина $C_1 = (0,5 \div 0,7)C = a[\xi(1 - tg\gamma) + \sec\gamma]$, где C , C_1 - ширина поверхности трения и пластического контакта соответственно, и вычислим некоторые величины из области резания $cn = C_1 - ec = a[\xi(1 - tg\gamma) + \sec\gamma - (1 - \xi \sin \gamma)] \cos \gamma$, $cf = C - ec = 2a[\xi(1 - tg\gamma) + \sec\gamma] - a(1 - \xi \sin \gamma)/\cos \gamma$ при $C/C_1 = 2$.

Величина fk определена углом текстуры, зависящим от степени пластического деформирования материала и представляет собой угол наклона оси деформированных зерен поликристалла к условной плоскости сдвига $fk = a\xi tg(\beta + \psi - \gamma)$, преобразуя

$$fk = a\xi\{(1 - \sin \gamma)[\varepsilon + (\varepsilon^2 + 4)^{0.5}] + 2\xi \cos \gamma\} / \{\cos \gamma[\varepsilon + (\varepsilon^2 + 4)^{0.5} \xi] + 2(\xi \sin \gamma - 1)\}$$

Как отмечалось, величина OA -функция от набора физико-механических свойств обрабатываемый материал и должна находиться в коореляционной связи с ξ_l . От ξ_l зависит и величина qa . В таб. 2 для некоторых значений ξ_l , приведены ее величины.

Таблица 2. Некоторые расчетные значения α и qa в зависимости от усадки стружки.

ξ_l	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	7,5
α	54°21'	45°10'	35°18'	30°	26°30'	24°05'	22°10'	19°30'	15°30'
qa	0,719	0,995	1,417	1,79	2,006	2,235	2,462	2,824	3,606

Выше рассмотрены, выраженные через параметры $\xi_l, \varepsilon, \gamma, C$, вопросы и основные соотношения архитектуры области пластического деформирования материала в процессе резания. Заметим, указанные параметры определимы простыми методами и легко, то есть становится возможным определение основных параметров области пластического деформирования материала для процесса резания. Динамика, кинематика и архитектура области резания при резании взаимосвязаны и только комплексный анализ факторов, характеризующих процессе резания, позволит надеяться на положительный результат в исследовании процесса пластического деформирования материала в процессе резания, по-видимому наисложнейшем из процессов пластического деформирования материала.

Список литературы: 1. Христафорян С.Ш. Вопросы формирования пространственной структуры твердого тела сливной стружки при непрерывном резании. //РСНТО, Арм. ССР, Мат.24НТК, , Ереван,-1987,-с.187-188. **2.** Христафорян С.Ш. О процессе ре-

зания материалов как самоорганизующейся структуре по переработке вещества. // Изв. НАН РА, Серия тех. наук, -1999, том 2, -с.145-152. 3. Христафорян Э.С. Повышение эффективности процесса шабрения использованием ультразвуковых колебаний. Автореф ...кан.тех. наук, Ереван, 1999.

Сдано в редакцию 18.01.07

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОБЛАСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛА ПРИ РЕЗАНИИ

**Христафорян С.Ш., Саакян С.Г., Христафорян Э.С. (ГИУА, HARVAL
ENGINEERING, Ереван, Республика Армения)**

In the process of cutting is self-organized the region of the cutting, where far from temperatures of phase transformations the workable material as a result of acting the high hydrostatic pressure changes elasticity on plastically, which is possible to carry out only in the locked space, whereas the region of cutting has free surfaces. Questions of the structurization of the free surfaces of the region of cutting from the positions of the guarantee of the necessary hydrostatic pressure in the region of cutting are for the first time examined

При резании в обрабатываемом материале образуется некоторая функциональная область, именуемая в теории резания областью резания, где благодаря особенностям процесса стружкообразования, происходит пластическое деформирование материала, приводящее к образованию новой структуры материала – стружки, отличающейся более высоким уровнем организации или порядка на микроуровне и характерной текстурой. Область резания по своему физическому содержанию весьма сложное пространственное материальное образование, о которой до сегодняшнего дня нет достаточных знаний.

В обрабатываемом материале, находящемся в пространстве области резания, отмечено характерное поле довольно высокого гидростатического давления. Настолько высокого, что в результате её действия в области резания – области структурирования обрабатываемого материала, имеющей свободные поверхности или поверхностный слой, назовем его оболочкой, возникают такие условия, при которых обрабатываемый материал в процессе самоорганизации удерживается в области резания и подвергаясь пластическому деформированию вдали от температур фазовых переходов претерпевает условный фазовый переход приобретая стружку стружки. Этот аспект в теории резания ранее не рассматривался.

Теорией и практикой резания накоплен богатейший фактический материал, а сам процесс резания успешно и в огромных масштабах реализуется в различных отраслях промышленности, но единство взглядов на самый сложный физический процесс резания не достигнуто. Известные модели процесса стружкообразования чрезмерно упрощены и не объясняют все многообразие характерных для процесса резания явлений, в первую очередь сам процесс стружкообразования, характеризующие закономерности процесса резания эмпирические зависимости и рекомендации, как правило, слабо обоснованы и редко служат задачам оптимального резания материалов.

Все исследования области стружкообразования – структуры материала в закритическом состоянии, основаны в принципе на геометрическом и металлургическом анализе корней стружек и уже сформированных областей резания, каким-либо образом зафиксированных в обрабатываемом материале. Результаты этого анализа в большинстве своем служили базисом в деле разработки физической модели процесса стружкообразо-