

Таблица

Расчетные и экспериментальные значения резонансных частот
малых роторных машин

Габа- рнты двигат- еля	Гармоники, Гц									
	I		II		III		IV		V	
	теор.	эксп.	теор.	эксп.	теор.	эксп.	теор.	эксп.	теор.	эксп.
50	83	85	426	440	992	1050	1800	1910	3270	3320
56	78	80	397	410	963	1000	1750	1800	3150	3250
65	70	78	348	460	936	980	1520	1610	3070	3150

Как видно из таблицы, предложенный метод расчета собственных частот роторных машин дает результаты, достаточно близкие к экспериментальным данным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филиппов А.Л. Колебания деформируемых систем - М.: Машиностроение, 1970. - 136 с.
2. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. - М.: Высшая школа, 1972. - 416 с.
3. Справочник по специальным функциям / Под ред. М. Абрамовича и Н. Стигона. - М.: Наука, 1979. - 830 с.
4. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа - М.: Наука, 1971. - 288 с.

Ин-т механики НАН РА

19.02.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LII, № 2, 1999, с. 145-152

УДК 621.9.01

МАШИНОСТРОЕНИЕ

С.Ш. ХРИСТАФОРЯН

О ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ КАК САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СТРУКТУРЕ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ВЕЩЕСТВА

Ինքնակազմակերպման և կառուցվածքների զարգացման դիրքերից ղիտարվում են կտրման տեսության հարցերը՝ տաշվագոյություն գործընթացին համանման ֆիզիկական մոդելի մշակման ենթատեքստով:

Рассматриваются вопросы теории резания с позиции науки о самоорганизации и эволюции структур в контексте разработки адекватной физической модели процесса образования стружки.

Ил. 2. Табл. 1. Библиогр.: 7 назв.

Cutting theory problems from the viewpoint of the science on self-organization and evolution of structures are considered. An adequate physical model of a shearing formation process is worked out.

Fig. 2 Table 1, Ref. 7.

Процесс резания исследуется весьма долго, но, несмотря на огромный опыт в практике резания, наличие богатейшего фактического материала и достаточный уровень теоретических достижений в науке о резании материалов, основной вопрос теории адекватное описание сложнейшего физического процесса стружкообразования при резании - остается открытым.

Определенные перспективы в развитии науки раскрылись с бурным развитием новейших достижений научной мысли - неравновесной термодинамики и синергетики [1,2]. Однако, если несомненные успехи в приложении отмеченных теорий к вопросам механики разрушения материалов подтверждены, то в теории резания материалов в последний период еще не было шагов в этом направлении. Не последнюю в этом отставании роль сыграло и то, что на всех этапах развития, практически, реализация нового в резании материалов намного опережала теоретические проработки, т.к. потребности машиностроения диктовали такие условия.

Проблема физической модели стружкообразования особенно проявилась в связи с попытками ее привлечения к решению вопросов комбинированных методов обработки, в том числе и процесса резания с применением ультразвука (УЗ). С одной стороны, достоверные результаты о состоянии материала в области стружкообразования не согласовывались с моделью условной плоскости сдвига, с другой, эта модель не позволяла описать бесспорные положительные эффекты УЗ резания.

В 80-е годы начинается активный поиск новых решений о проблеме резания материалов, определении физической модели пластического деформирования при резании и осмыслении процесса резания как физического процесса. К этому периоду относятся и выполненные в Армении масштабные исследования процессов резания с применением дополнительных источников энергии, в том числе и УЗ, и вопросов термодинамики и энергетики процесса резания, а также первые результаты по разработке основ теории самоорганизующегося процесса резания на основе положений неравновесной термодинамики и синергетики [3,4]. В начале 90-х годов представления ряда авторов о характере состояния материала в зоне стружкообразования существенно различаются, в последние годы наблюдается повышенный интерес к возможности привлечения неравновесной термодинамики и синергетики к проблемам резания. Отношение к синергетическому подходу в вопросах резания существенно изменилось [5], но до разработки целостной концепции еще далеко. Поэтому целесообразно провести публикацию основных материалов исследований по разработке основ теории самоорганизующегося процесса резания, проводимой с конца 70-х годов в ГИУА.

В основу нового подхода к вопросу о физической модели процесса стружкообразования и концепции резания материалов заложены:

- отказ от существующих моделей, как недостаточно оправдавших себя в решении основной задачи теории резания с одновременным использованием достоверного фактического материала теории и практики резания;

- выделение физического процесса стружкообразования в отдельное явление, не связанное с целями изготовления конкретной детали;

- использование новейших достижений науки и методологии анализа;

- граничные условия, характерные для области стружкообразования и резания материалов, с учетом того, что система резания открытая и многокомпонентная, термодинамические функции имеют смысл для открытых систем, а обмен энергией и веществом с внешним миром и между компонентами допускается через характерные явные и условные границы.

Энтропия S и внутренняя энергия системы U обладают свойством аддитивности, и для открытых систем изменение их может произойти за счет обмена энергией и веществом с внешней средой, а также процессов, происходящих внутри системы, т.е. $dS = d_1S + d_eS$ и $dU = d_1U + d_eU$. Для реальных процессов $d_1S > 0$, тогда как d_eS может иметь любой знак и величину в некотором интервале времени. Условию равновесия соответствует $dS = 0$, а $S = \max$ означает низшую степень организованности при заданных энергии, объеме и массе. Любое сравнительно организованное состояние неравновесно, и для него справедлив второй закон термодинамики. Текущее равновесие системы, устойчивое по отношению к малым отклонениям, определяется как $d_1U = 0$; $d_eS = -d_1S \leq 0$, и для поддержания ее в системе должен происходить приток отрицательной энтропии, компенсирующий производство энтропии в системе.

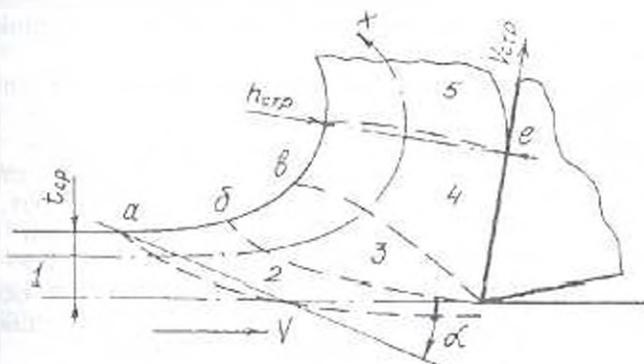


Рис.1 Область стружкообразования (CP), разделенная на пять акцентированных фрагментов и разграниченная условными поверхностями - границами в соответствии с уровнем порядка фрагментов

Так как $d_1S > 0$ и энергетические процессы, протекающие в системе, всегда диссипативны, что является явным признаком текущего равновесия, то необходимо иметь определенное

соотношение между производством энтропии и обменом ею со средой. Для формирования упорядоченных структур в открытых системах отдача энтропии должна превышать некоторое критическое значение, т.е. необходима самоорганизация. Существует два вида необратимых процессов: разрушение (деградация) структуры вблизи положения равновесия - универсальное свойство систем в произвольных условиях; возникновение (эволюция) структур вдали от равновесия, обусловленное тем, что система открыта, обладает нелинейной внутренней динамикой, внешние ее параметры превышают критические значения, а микроскопические процессы происходят кооперированно.

Процесс резания - явно необратимый процесс, причем если на входе некоторой функциональной системы (структура резания - СР) имеется квазиизотропный материал, то на выходе - высокоорганизованная конфигурация (мода) исходного материала - стружка (текстура, форма, свойства и пр.). Отметим, что иных методов получения структуры стружки не существует, и это безусловная прерогатива СР. За счет подвода энергии и вещества к СР в ней происходит структурирование исходного материала с выходом новой моды, отличающейся более высоким порядком и меньшим числом степеней свободы или симметрии, т.е. процесс стружкообразования созидательный, а созидающее функциональное устройство (СР) возникает самостоятельно и самоорганизуется в зависимости от внешнего и внутреннего полей параметров. Компоненты СР имеют различные уровни, масштаб и природу, а связи между ними, по существу, нелинейны.

Процесс резания происходит в значительном отклонении от равновесия, СР подвержена внешнему воздействию, микропроцессы в ней происходят кооперированно, а динамические уравнения ее нелинейны, т.е. возникновение СР неизбежно как явление класса самоорганизации. Описание таких систем необходимо проводить на всех уровнях с привлечением совершенно различных концепций, а физическая модель СР должна быть свободна от ограничений и быть общей для любого случая резания и при любом сочетании входных параметров.

Отметим, что если технологическая система, обеспечивающая процесс резания, настроена так, что в ней не возникает существенных флуктуаций, то самоорганизующаяся СР будет устойчива сколь угодно долго, а параметры СР будут стабильны и определены. Результаты исследований показывают, что СР характеризуется вполне определенными поверхностями, например, изолиниями, и в ее конфигурации выделить какие-либо плоскости просто невозможно, тогда как основная модель СР основана на условной плоскости сдвига. Учтем этот фактор и рассмотрим СР, основываясь на ее бесспорной макроконфигурации.

Представим СР подобластями или фрагментами (Ф) с явно различными и акцентированными характеристиками, разграничив условно их некоторыми поверхностями - границами (рис.1): Ф1 - идеальный беспорядок (изотропный исходный материал), Ф2 - область упругого деформирования ансамблей исходного материала, причем напряжения сжатия и накопления энергии будут непрерывно возрастать в направлении Ф3. Здесь происходит интенсивное нарушение изотропности за счет всех известных механизмов теории

пластического деформирования и начинается формирование определенной структуры, которая при подходе к Ф3 становится ярко выраженной и предельно возможной для данной конфигурации с позиций энергонасыщенности, взаимодействий и взаимоотношений ансамблей материала в динамическом и геометрическом понимании.

На границе "б" траектория развития структуры приближается к точке бифуркации, при которой неизбежно происходит переход к новому уровню порядка, так как Ф2, насыщаясь энергией, еще ее не диссипирует. Необходимо отметить, что Ф2 накапливает энергию порядка на микроуровне, проявляющуюся в наведении такой конфигурации Ф2, которая позволяет оптимальным образом осуществить переход в фазовом пространстве состояний. В результате материал в Ф3 приобретает пластичность т.е. еще более высокий уровень порядка с явной кооперативностью поведения ансамблей. Ф3 имеет определенную протяженность в направлении движения материала в СР, характеризуемой криволинейной осью X, т.к. есть непрерывный приток энергии. Одновременно, пластическое деформирование сопровождается выделением тепла, и на эту область оказывает влияние источник тепла в зоне трения на передней грани реза, вследствие чего снижаются пороговые значения характеристик деформируемого материала и пластический сдвиг протекает в определенном интервале времени.

При переходе материала в Ф4 сдвиг прекращается, и структура материала фиксируется в той фрагментации, какой она была на границе "в". Влияние отмеченного источника тепла на Ф4 сказывается на ближайших к нему слоях материала, и в них может продолжаться пластическое деформирование, поэтому моду Ф4 можно считать упруго-пластической. Далее после границы "е", характеризуемой точкой отрыва стружки от реза, структурированный окончательно исходный материал существует как самостоятельная устойчивая мода высокого порядка. Заметим, что фрагменты СР обусловлены определенностью состояния материала в них, т.е. их формы и условные границы между ними могут быть обусловлены только динамическим взаимодействием фрагментов СР и составляющих их ансамблей. Следовательно, при отсутствии флуктуаций в процессе резания для данных условий обработки должны устанавливаться определенные соотношения между фрагментами и их границами [6,7]. Как видно из диаграммы уровней порядка в структуре резания (рис. 2), поток материала в СР через условную границу "а" строго регламентирован скоростью резания, т.е. перенесенная через условную границу масса вещества пропорциональна площади границы и скорости потока. Явление усадки стружки и анализ микрофотографий СР показывают, что длины условных границ неодинаковы и неизменны. Так как в СР не производится масса, то для всех условных границ диффузия массы через любую из определяющих СР поверхностей остается неизменной, иначе нарушается условие сплошности материала, т.е. $V_s \cdot S_s \cdot \rho = \text{const}$, где V_s - среднеинтегральная скорость точечных масс в данной поверхности S_s , характеризующая конфигурацию СР; ρ - плотность вещества.

Определим принятое в теории резания понятие "усадка стружки" не как укорочение ζ или отношение площадей поперечных сечений $S_{стр}$ стружки и $S_{ср}$ срезаемого слоя, а как отношение скоростей входа и выхода материала в СР. Зная, что эти скорости отличны друг от друга, можно записать $V = \zeta V_{ср}$, где V и $V_{ср}$ - соответственно скорости поступающего в СР и отводимого из нее материала; ζ - коэффициент изменения скорости материала при прохождении СР. Для некоторого объема материала, поступающего в СР, можно записать

$$mV^2/2 = \zeta^2 mV_{ср}^2/2, E - E_{ср} = (\zeta^2 - 1)E_{ср} \text{ и } E_s = E(1 - \zeta^{-2}),$$

где E , $E_{ср}$, E_s - соответственно энергии исходного, структурированного материала и затраченной на структурирование.



Рис. 2. Диаграмма уровней порядка в СР: 1 - 4 - точки бифуркации в фазовом пространстве состояний материала в СР, _____ траектория развития системы, - - - - - возможные траектории развития системы после точек бифуркаций

Допуская, что для данных условий обработки и определенной массы $E_s = \text{const}$, можно записать $mV^2(1 - \zeta^{-2})/2 = \text{const}$ или $\zeta^{-2} = (1 - 2E_s/mV^2)^{-1}$, что имеет смысл при $V^2 > 2E_s/m$, т.е. стружкообразование может произойти, если данная масса материала обладает энергией, большей, чем необходимая для структурирования его в стружку, что не может вызвать каких-либо возражений. Заменяв усадку ζ на отношение длин срезаемого слоя и стружки, получим $l = l_{ср}(1 - V_s^2/V^2)^{-0.5}$. Полученные результаты говорят о том, что конфигурация СР должна быть обусловлена условными поверхностями, для которых произведение среднеинтегральной скорости вещества в ней на площадь поверхности есть постоянная

величина для данных условий резания, т.е. $D_s \cdot S_1 = \text{const.}$ где D_s - скорость диффузии вещества через определяющие СР условные поверхности.

Результаты синергетического анализа СР указывают на наличие существенных элементов погрешности в анализе СР посредством условной плоскости сдвига и открывают перспективы пересмотра известных в теории резания динамических, кинематических и геометрических соотношений в СР. Например, ζ_s не совпадает с общепринятой ζ , и это обусловлено тем, что площадь поверхности, с которой начинается вовлечение материала в СР, не равна площади поперечного сечения срезаемого слоя. В связи с этим возможно по известной величине традиционной усадки ζ определить угол наклона поверхности "п" аппроксимированной плоскостью к направлению резания - α (табл.)

Таблица

ζ_s	ζ	α	ζ	ζ_x	α	ζ	ζ	α
1,1	1,0042	65°64'	2,0	1,1574	35°18'	4,0	1,511	22°10'
1,2	1,0142	57°41'	2,2	1,1931	32°51'	5,0	1,666	19°30'
1,4	1,0435	48°12'	2,5	1,25	30°	7,0	1,9417	15°6'
1,6	1,0787	42°24'	3,0	1,3423	26°30'	10	2,3	13°23'
1,8	1,1156	38°18'	3,5	1,4291	24°6'	-	-	-

Представленные выше некоторые результаты по разработке основ самоорганизующегося процесса резания подтверждают ранее полученные по разработке физической модели пластического деформирования при резании [3, 4, 6, 7].

Таким образом, анализ СР, основанный на синергетическом подходе к самоорганизующейся СР, позволил выявить основные закономерности влияния входных параметров процесса резания на параметры СР, что существенно повысило возможности анализа процесса резания и прогнозирования его результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хакен Г. Синергетика. - М. Мир, 1980. - 283 с.
2. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. От диссипативных структур к упорядочению через флуктуации. - М. Мир, 1979. - 512 с.
3. Христафорян С.Ш. Влияние УЗК на процесс пластического деформирования при высоких скоростях резания // Электрофизические и электрохимические методы обработки // НИИМАН. - М., 1983. - № 4. - С. 9-12.
4. Касьян М.В., Христафорян С.Ш. К вопросу о механизме возникновения структуры резания // Изв. вузов. Машиностроение. - 1990. - № 2. - С. 121-124.

5. Кабалдин Ю.Г. Механизмы деформации срезаемого слоя и стружкообразование при резании // Вестник машиностроения. - М., 1993. - №7 - С. 25-30.

6. Христафорян С.Ш. Модель пластического деформирования при резании. - Ереван, 1985. - 8 с. / НТД, АрмНИИНТИ. - Ереван, № 19Ар - 85 Деп.

7. Христафорян С.Ш. Вопросы формирования пространственной структуры твердого тела сливной стружки при непрерывном резании // Мат. 24-й науч.-техн. конф. РСНТО АрмССР. - Ереван, 1987. - С. 187-188.

ГИУА

08.12.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 11, № 2, 1999, с. 152-158.

УДК 621.791.624.014.25

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Т.Т. АРАКЕЛЯН

УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ МАЛОНАПРЯЖЕННОСТИ

Արդյավորվում է արժեքային խորանրագիտության համար կարևոր նշանակություն ունեցող ընդհանրացման կետերի առկայությունը պայթյանի նվազագույնի բախվածության սեփականության համար:

Установлена минимальная количественная величина условия возникновения малонапряженности, что имеет важное значение для инженерной практики.

Ил. 4. Табл. 1. Библиогр.: 5 назв.

Minimum quantity of low-stress level onset conditions being of great importance for engineering practice is stated.

Ил. 4. Table 1. Ref. 5.

Непрерывное усложнение конструктивных форм несущих элементов, повышение их нагруженности и широкое применение неразъемных соединений упруго-неоднородных материалов делают необходимым, наряду с традиционными методами расчетно-экспериментальной оценки прочности и долговечности соединений, учитывать недавно установленное явление в таких соединениях - малонапряженность [1]. При этом получены такие предельные значения геометрических параметров, как условия возникновения малонапряженности (затухание напряжений) у края контактной поверхности.

Вблизи края контактной поверхности границ области затухания или возрастания напряжений в общем случае напряженного состояния определяются уравнением относительно углов α и β (рис. 1) [1,2]

$$\begin{aligned} \Gamma(\alpha, \beta) = & \mu m_1 m_2 [(\alpha + \beta) \cos(\alpha + \beta) - \sin(\alpha + \beta)] \sin(\alpha + \beta) + \\ & + \mu m_2 [\mu m_2 - m_1 - (\mu - 1) \sin^2 \beta] (\alpha \cos \alpha - \sin \alpha) \sin \alpha - \\ & - m_1 [\mu m_1 - m_2 - (\mu - 1) \sin^2 \alpha] (\beta \cos \beta - \sin \beta) \sin \beta = 0. \end{aligned} \quad (1)$$