

**С.Л. Лазуткин, Н.А. Лазуткина**  
**S.L. Lazutkin, N.A. Lazutkina**

Муромский институт (филиал)  
ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет»  
Murom Institute (Branch)  
Vladimir State University

## **КОМПЛЕКСНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СИСТЕМЫ «МАШИНА – ОБРАБАТЫВАЕМЫЙ МАТЕРИАЛ»**

### **THE COMPLEX NOTION OF THE SYSTEM «THE MACHINE – THE MACHINED MATERIAL»**

Дано краткое описание системного подхода к качественной оценке функционирования и взаимодействия технической системы и обрабатываемого материала с целью обоснования создания адаптивных механизмов и машин энергосберегающего действия.

**Ключевые слова:** строение материала, время разрушения, энергия разрушения, поток энергии, взаимодействие машины с материалом, канонический ансамбль «машина – обрабатываемый материал»

The short description of methodical interpretation of the quality estimation of the functioning and the interaction of the machine with the materials for substantiating of developing adaptive power conserving machines are presented.

**Keywords:** structure of materials; the time of crushing; crushing energy; the power flow; the interaction of the machine with the materials; the fundamental ensemble «the machine – the machined material».

Технологические процессы в промышленности осуществляются с помощью разнообразных агрегатов и машин, обрабатывающих горную породу, металлы, древесину, полимерные материалы и др. с целью получения конечного продукта и поставки его потребителям. Применяемые для этого агрегаты можно классифицировать как систему канонического ансамбля «машина – обрабатываемый материал» (КАММ), включающую в себя три основных элемента: привод, рабочий орган, обрабатываемую среду. До настоящего времени изучение системы «машина – обрабатываемый материал» осуществляется, как правило, с использованием теорий, в которых строение и состав исследуемых элементов не играют существенной роли при расчетах и анализе эффективности их применения. Особенностью используемых теорий является их направленность на изучение макросистем и обобщение экспериментальных данных в определенных областях рабочих параметров канонических ансамблей. Это

позволяет проектировать и создавать достаточно надежное оборудование, необходимое для производственных процессов, однако нередко эффективность его применения остается на достаточно низком уровне.

При этом КАММ изучаются и создаются в основном с использованием теорий, не обладающих универсальной применимостью. Они рассматривают явления, где тип исследуемых элементов ансамбля не играет существенной роли в технологии обработки материала. Примерами таких ансамблей являются буровые машины, проходческие и добычные комбайны, обрабатывающее оборудование, транспортирующие, перерабатывающие и другие агрегаты. Их работа чаще всего осуществляется силами внешнего возмущающего нагружения, упругости узлов машины и их инерционности. Исследователей больше интересует движение деталей машин как целого без учета частиц, из которых они состоят, без детализации поведения тех микрочастиц, которые оказывают существенное влияние на весь процесс.

К настоящему времени не дано количественного определения прочности различных твердых тел на строгой основе субмикроскопических исследований. Все данные о прочности были найдены на макроскопическом уровне, без исследования внутреннего механизма деформирования и разрушения. Полученные опытные данные о прочности и базирующиеся на них эмпирические теории составляют единственную количественную основу для инженерных расчетов, часто не учитывающую реальные временные и температурные условия нагружения испытываемого объекта. Поэтому актуально исследование разрывных и деформационных процессов на различных иерархических уровнях, установление зависимостей, описывающих их взаимосвязь с учетом атомно-молекулярного строения твердых тел, наличия в них теплового движения атомов и временного фактора. Это позволит более объективно и точно выполнять расчеты по определению геометрических параметров машин, их рабочих органов и технологических режимов, обеспечивающих оптимальные энергозатраты на добычу, обработку материала, и требуемого качества конечного продукта.

Многочисленные инструментальные исследования показывают эволюционный характер деформационных процессов во времени, поэтому основным недостатком существующих расчетных схем для определения параметров устойчивости КАММ является игнорирование временного фактора [1–3].

Изменение механических свойств различных материалов во времени определяется скоростью протекания реологических процессов и часто оценивается с позиции феноменологических теорий, в которых принята модель сплошного твердого тела. При исследовании реологических процессов важное значение имеет правильный выбор теории прочности и модели твердого тела, наиболее адекватной обрабатываемому материалу. Анализ существующих теорий прочности твердых материалов показал, что этим условиям наи-

более полно отвечает кинетическая теория прочности, которая учитывает кристаллическое строение материалов, наличие в них теплового движения атомов (молекул) и дефектность их структуры.

В общем случае деформирование и разрушение есть интегральный результат процессов, происходящих на различных иерархических уровнях – от распада межатомных связей до образования макроразрывов сплошности в образце или массиве, следовательно, наиболее достоверная и объективная картина потери устойчивости может быть получена при учете многомасштабности процесса разрушения. Каждому уровню соответствует определенный критерий разрушения, при котором запускается механизм его реализации, и теория прочности, поэтому исследование деформирования и разрушения различных материалов должно производиться не в противопоставлении существующих теорий прочности твердых тел, а в их объединении. В связи с этим актуальной задачей развития науки о прочности является исследование внутреннего механизма разрывных и деформационных процессов в нагруженном теле и установление его влияния на макроскопические механические свойства.

Анализ многочисленных экспериментальных данных о долговечности  $\tau$  (времени существования образца под нагрузкой  $\sigma$ ) различных твердых тел позволил академику С.Н. Журкову получить следующее уравнение:

$$\tau = \tau_0 \cdot \exp \frac{U_0 - \gamma \sigma}{kT} = \tau_0 \cdot \exp A, \quad (1)$$

где  $\tau_0$  – период колебания атома в кристаллической решетке;  $U_0$  – начальная энергия активации разрушения;  $\gamma$  – коэффициент структуры твердого тела;  $k$  – константа Больцмана;  $T$  – абсолютная температура испытываемого материала.

Временную зависимость прочности можно выразить через относительную скорость деформирования  $\dot{\epsilon}$  и активность трещинообразования  $\dot{N}$ :

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_0 \cdot \exp - A,$$

$$\dot{N} = \dot{N}_0 \exp - A,$$

где  $\dot{\epsilon}_0$  и  $\dot{N}_0$  – соответственно максимальная относительная скорость деформирования и максимальная активность трещинообразования.

Уравнение (1) и производные от него выражения уникальны постольку, поскольку входящие в них параметры относятся к различным масштабным уровням: например,  $\tau_0$ ,  $k$ ,  $U_0$  – к микроуровню,  $\gamma$  – мезоуровню и  $\tau$ ,  $\sigma$ ,  $T$  – макроскопическому. Это подтверждает взаимосвязь процессов, происходящих на

различных иерархических уровнях в нагруженном теле, и зависимость его макро-скопических механических свойств от внутренних деформационных и разрывных процессов.

Важным выводом этой теории является то, что внешняя сила сама не разрывает межатомные связи, а лишь активизирует этот процесс. Разрушение твердых тел носит термофлуктуационный характер, а окончательный распад связи происходит термоактивационным путем. Дальнейшее развитие кинетическая теория прочности получила в дилатонно-фононной модели твердого тела. Согласно этой теории дезинтеграцию материала следует рассматривать не как последовательный разрыв межатомных связей, а как распад десятков, сотен и более элементарных связей в дилатонах – отрицательных флуктуациях плотности вещества, появляющихся под действием упругих деформаций и окончательно разрушающихся тепловыми флуктуациями с образованием трещин субмикроскопического размера (зародышевых микротрещин).

Разрушение твердых тел является многостадийным процессом, протекающим во времени. Первая стадия связана с рассеянным разрушением наиболее слабых участков по всему объему материала и образованием зародышевых микротрещин вышеуказанным способом. Вторая стадия зарождения трещин характеризуется сравнительно небольшим приростом микротрещин (10–20 %), стягиванием деформационных процессов в узкую зону, образованием области с повышенной их концентрацией и системы более крупных трещин за счет их слияния. Локализация процесса разрушения приводит к реализации третьей стадии – образованию магистральной трещины, приводящей к распаду твердого тела на части. Из этого следует, что на каждой стадии и масштабном уровне разрушения, начиная от зарождения субмикроскопических трещин до появления макроразрывов сплошности в исследуемых объектах, существенную роль в формировании физико-механических свойств горных пород и других материалов играет кинетика термоактивационного образования зародышевых трещин, которая может быть охарактеризована уравнением (1) и производными от него выражениями.

Итак, исходя из современных представлений о прочности, на разных стадиях деформирования и разрушения твердых тел ведущую роль играют физические процессы, различные по энергиям активации, характерным масштабам, времени релаксации и структуре. Анализ кинетических параметров, входящих в уравнение (1), их физический смысл показывает возможность изучения прочности твердых тел с учетом многомасштабности процесса их дезинтеграции. Однако применение кинетической концепции прочности твердых тел затруднено ввиду недостаточной изученности механизма перехода от микро- к макроразрушению, а также физического смысла следующих параметров: начальная энергия активации разрушения  $U_0$  и коэффициент структуры, – возможности использования формулы (1) и ее производных в усложненных случаях разрушения. По ре-

результатам некоторых исследований установлено, что при вязкой дезинтеграции твердых тел параметры  $U'_0$  и  $\gamma'$  отражают баланс энергетических затрат на разрывные и рекомбинационные процессы. При хрупкой дезинтеграции параметры  $U''_0$  и  $\gamma''$  определяются только актами необратимых процессов, поэтому численные их значения меньше, чем при вязком разрушении материала. В обоих случаях  $U_0$  и  $\gamma$  являются усредненными интегральными характеристиками единичной напряженной связи, отражающими эволюцию деформационных и разрывных процессов в очагах разрушения с момента приложения внешней нагрузки к испытываемому телу вплоть до его разрушения.

Энергия должна передаваться обрабатываемому материалу в таком количестве, которое способно полезно поглотить обрабатываемое вещество. Излучаемая энергия должна поглощаться главным образом теми связями, которые нужно обрабатывать. В результате материал, с которым взаимодействует рабочий орган машины, не перегружается излишней энергией. Такое заключение открывает пути решения задачи оптимального воздействия только на те связи между молекулами обрабатываемого материала, разрыв которых не вызывает изменения его свойств.

Системное представление КАММ как целого, составленного из частей, с их расположением в определенной связи, приведено в виде схемы интерактивной системы (рис. 1). Она состоит из статистически взаимодействующих элементов и дает общее представление о строении изучаемого объекта. Ранжирование системы по энергетическим уровням способствует разработке единого метода создания энергоуравновешенных КАММ. При этом выделяют полезно используемую обратимую энергию системы, полезно используемую необратимую энергию и необратимую внутреннюю энергии.

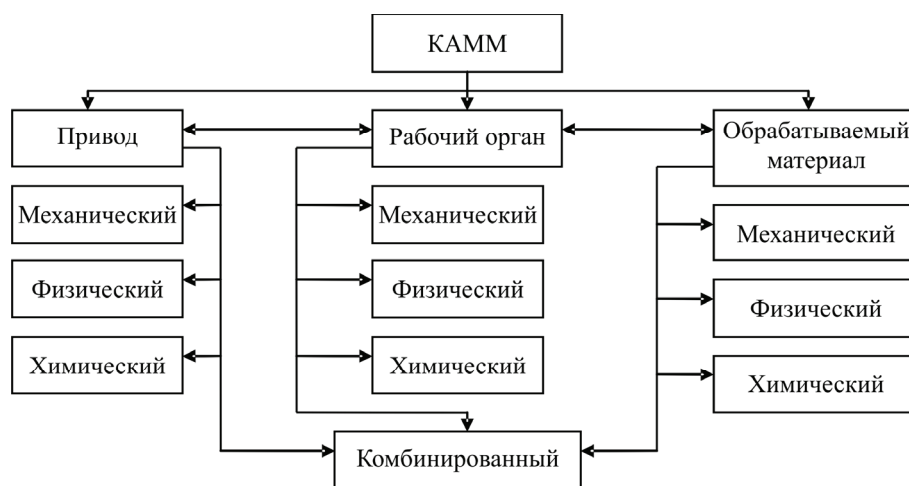


Рис. 1. Структурная схема интерактивной системы КАММ

Работа металлообрабатывающих, горных и других машин, основной процесс воздействия которых на обрабатываемую среду является механическим, характеризуется незначительными разностями температур. А как известно, все механические, электрические и магнитные процессы, при которых в идеализированном предельном случае отсутствуют какие-либо разности температур, обратимы. Воздействие внешнего поля сил вызывает разрывы гравитационных и электромагнитных связей обрабатываемого материала, сопровождающиеся трансформацией их потенциальной энергии в кинетическую. Связи сильного и слабого взаимодействий в этом случае не разрушаются, а полезно используется обратимая свободная энергия  $F$  :

$$F = U - TS,$$

где  $U$  – внутренняя энергия системы;  $T$  – ее температура;  $S$  – энтропия. Таким образом,  $TS$  – связанная энергия, которая не может быть полезно использована для совершения работы.

Схема, изображенная на рис. 2, подтверждает участие обратимой энергии в технологических процессах. Так, кинетическая энергия механической части исполнительного органа может характеризоваться затухающими колебаниями, протекающими обратимо и периодически. Важным для науки и практики является полезное использование свободной энергии  $P$  и энергий гравитационных и электромагнитных связей между частицами обрабатываемого материала, которые выделяются при их разрыве. Энергетические потоки фотонов и фононов воздействуют на связи между соседними частицами отдельно и совместно. Последнее, фотонное, воздействие обеспечивает повышение производительности и КПД обработки материала, сохраняет его качество, снижает удельную энергоемкость. Полезно используемая обратимая энергия проявляется вследствие действия кинетической, потенциальной и внутренней энергии обрабатываемого материала и обладает свойствами, наиболее полно отражающими «интенсивность отклика» системы на внешние возмущения с какой-либо частотой.

Последовательная трансформация внешней кинетической энергии до модуляций, близких к модуляциям внутренней энергии обрабатываемого материала, приводит к субрезонансным взаимодействиям внешних нагрузок с колебаниями внутренней свободной энергии и энергиями гравитационных и электромагнитных связей с участием излучаемых фотонов и фононов обрабатываемого материала.

К необратимым в КАММ отнесены энергии сильного и слабого взаимодействий, так как они не высвобождаются при существующих технологических процессах, диффузия, внешнее и внутреннее трение, пластические деформации тел, теплопроводность при малой разности температур, передача энергии посредством излучения и некоторых химических реакций. Необратимая кинетическая энергия системы используется полезно, а необратимая внутренняя энергия не участвует в разработке КАММ.



Рис. 2. Структурная схема энергетической системы КАММ «машина – обрабатываемый материал»

Энергия КАММ разделяется на две характерные группы. Первые два блока содержат потоки энергии, которые принимают непосредственное участие в обработке материалов. В нее входят внутренняя, полезно используемая обратимая энергия, не зависящая от движения всей системы или присутствия внешних силовых полей, а также свободная, гравитационная и электромагнитная энергии связей. Полезно нагружает материал и внешняя необратимая энергия. Их проявления во внутренних процессах снижают напряжения разрыва. Правильное использование этих потоков улучшает показатели производственных граничных условий. Другой блок содержит связанную энергию, энергии сильных и слабых взаимодействий, способствующих росту сопротивления разрыву. В гуконской модели эти положения не учитываются, они же не принимаются во внимание при расчете и проектировании машин. Если точно известно микроскопическое состояние системы «машина – обрабатываемый материал» в фиксированный момент времени, то с использованием законов механики можно вычислить его положение в любой момент времени. Для описания базисной системы следует определить единый интегральный показатель, характеризующий систему в целом и каждый структурный эле-

мент отдельно. Научно обосновано и доказано, что любая сложная система характеризуется последовательностью уровней энергии, или стационарных состояний. Очевидно, что это свойство присуще как макросистемам, собранным из узлов машин, так и веществам, состоящим из атомов и молекул, к которым относятся металлы, горная порода и другие материалы. В проявлении этого свойства имеет место общность и аналогичность физико-химических и механических процессов, происходящих в этих материалах при приложении к ним внешних нагрузок. При этом в процессе функционирования базисной энергетической системы «машина – обрабатываемый материал» происходит преобразование и передача энергии в обрабатываемый материал. Поэтому процессы, происходящие в обрабатываемой среде, можно объединить понятием «отклика материала на подведение к нему внешней энергии». Тогда дозировка и локализация вводимой в вещество энергии, ее модуляция в субрезонансных частотах с обрабатываемой средой приобретают универсальный смысл и позволяют с достаточной математической точностью описать взаимодействие машины и обрабатываемой среды и определить наиболее общие подходы для создания гидравлических импульсных машин многоцелевого назначения. Энергетическая общность свойств исполнительного органа и обрабатываемого материала дает возможность единого методического подхода к исследованию системы «машина – привод – рабочий орган – забой».

### **Список литературы**

1. Лазуткина Н.А., Игнатов С.Н., Лазуткин С.Л. Энергобаланс технологического оборудования // Современные наукоемкие технологии. – 2004. – № 1. – С. 35.
2. Кантович Л.И., Лазуткин С.Л., Фабричный Д.Ю. Математическая модель исполнительного органа горной машины с адаптивной гидравлической импульсной системой // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2008. – № 2. – С. 321–323.
3. Лазуткин С.Л., Фабричный Ю.Ф., Фабричный Д.Ю. Формирования нагрузки на рабочем органе выемочной машины // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2008. – № 4. – С. 288–289.

Получено 21.02.2011