

УДК 621

О физических основах природы прочности материалов*

И. П. Спирихин

Московский энергетический институт (Технический университет), Москва, Россия

В результате анализа достижений физики твердого тела о строении материалов установлено, что каждый материал представляет собой иерархический ряд четырех автономных микроматериальных систем. Прочность каждой системы обеспечивается присущим только ей видом межматериального взаимодействия. Показан тонкий физический механизм разрушения металла при его нагружении как системы атомов и системы ядра — электроны. При этом установлены специфики характеристик его прочности и обоснованы способы их оценки для случаев нагружения, существенно различающихся механизмом разрушения. Показана корреляция между скоростью нагружения и параметрами теплового эффекта, сопутствующего разрушению материала. Раскрыта физическая природа этого эффекта. Процесс обработки изделий концентрированными потоками энергии истолкован как дозированное технологически управляемое высокоскоростное разрушение металла. Это позволяет обоснованно рационализировать как технологический процесс обработки, так и применяемое при этом оборудование.

Под прочностью принято понимать сопротивление материала разрушению и пластической деформации. При этом считается, что в материале задействуются и разрываются только обусловленные валентными электронами межатомные силы сцепления. Наиболее известными и ходовыми характеристиками прочности считаются пределы текучести σ_T , $\sigma_{0,2}$ и предел прочности σ_B . Эти характеристики получают при очень низкоскоростном нагружении специальных образцов, при котором в материале разрывается ничтожно малое количество межатомных связей.

Несмотря на сказанное, данные характеристики и упомянутое толкование прочности принимаются за основу при рассмотрении поведения материалов при любых скоростях нагружения, включая и так называемые сверхвысокие, когда в материалах разрывается значительно большее количество не только межатомных, но и других фундаментальных видов связи.

Приведенные характеристики прочности исторически сложились в рамках механики сплошной среды без учета истинных, подлинно физических факторов, связанных со сложным, ярусным внутренним строением материалов.

Из истории развития представлений о прочности материалов известно, что статическое и низкоскоростное их нагружение оказалось основным объектом внимания ученых, начиная с Галилея.

Галилей — первый ученый, убедительно обосновавший необходимость установления размеров изделий не по произвольному усмотрению практиковавших мастеров, а путем строгих расчетов, основанных на знании прочностных свойств материалов. В те времена материаловедение как наука еще не сформировалось и не могло лечь в основу развития подлинно физического учения о прочности. Однако интересы развития производства настоятельно требовали неотложного выполнения поставленной Галилеем задачи. Таковыми известными учеными как Р. Гук, И. Ньютон, Т. Юнг, их современниками

* Статья публикуется в порядке обсуждения.

и последователями были разработаны (ставшие классическими) представления о так называемых механических свойствах материалов, в комплекс которых вошли и упомянутые выше пределы текучести и прочности.

Развитие представлений о прочности, как при статическом, так и при динамическом нагружении материалов, происходило в рамках механики сплошной среды, рассматривающей прочностные свойства материалов независимо от их внутреннего строения. Поведение материалов при нагружении оценивалось математическими выкладками с учетом законов механики. При этом считалось, что прочность материалов, оцениваемая упомянутой выше величиной σ_b , при увеличении скорости нагружения возрастает до определенного предела, оставаясь затем постоянной.

Успехи развития физики твердого тела позволяют раскрыть истинные, т. е. чисто физические основы природы прочности материалов. Это даст возможность расширить существующие представления как о самом понятии прочности, так и о ее характеристиках при различных по характеру и скоростному режиму в условиях нагружения материалов.

В свою очередь вышесказанное позволит обоснованно выбрать и создать материалы различного целевого назначения. Важный интерес представляют материалы для изделий, работающих в режиме высокоскоростного нагружения и подвергающихся обработке концентрированными потоками энергии, включая электронно-лучевую и лазерную.

Важнейшие соображения, предопределившие раскрытие физических основ природы прочности и разрушения материалов, были изложены в работах [1, 2]. В предлагаемой статье дается их дальнейшее развитие, базирующееся на целенаправленном анализе достижений физики твердого тела.

Основанный на синергетике системно-целевой анализ поведения материалов под нагрузкой с учетом особенностей их сложного, ярусного внутреннего строения, а также характера и скоростного уровня нагружающего потока энергии позволяет установить тонкий физический механизм их разрушения при различных условиях нагружения и выявить факторы, предопределяющие уровень их прочности и специфику ее характеристик.

Напомним, что при синергетическом подходе поведение материала при нагружении рассматривается как самоустанавливающиеся и саморегулирующиеся неравновесные процессы.

От характера и скоростного уровня потока энергии нагружающего материала зависит, какой из имеющихся в нем четырех видов фундаментального межматериального взаимодействия разрывается и предопределяет физический механизм разрушения материала, уровень его прочности и специфику его характеристик.

В связи с этим рассмотрим особенности четырехъярусного внутреннего строения материала.

Особенности строения материалов

Любой материал представляет собой не одну, а иерархический ряд четырех автономных микроматериальных систем. Морфологическая целостность, т. е. прочность каждой из систем, обеспечивается одним из четырех ныне известных видов фундаментального межматериального взаимодействия.

Первая система — является системой атомов. Ее прочность обеспечивается электромагнитным межатомным взаимодействием (ЭМВ), осуществляемым за счет валентных электронов. Интенсивность ЭМВ принята за единицу.

Вторая система — это система ядра—электроны. Ее прочность обеспечивается внутриатомным электростатическим взаимодействием между положительно заряженными ядрами и зарядами электронов, составляющих оболочку вокруг ядер.

Данное взаимодействие более интенсивно, чем межатомное.

Третья система — система нуклонов (протонов и нейтронов), которые, будучи составными элементами ядер, фактически заключают в себе всю массу вещества. Прочность данной системы обеспечивается сильным взаимодействием, более интенсивным, чем ЭМВ — в 10^2 — 10^3 раз.

Радиус действия этого взаимодействия составляет 10^{-15} м, причем его разрыв может произойти только при таком характере воздействия, когда время разрыва составит 10^{-23} — 10^{-24} с. Это, так называемое, ядерное время.

Четвертая система — система кварков — составных элементов нуклонов. Ее морфологическая целостность обеспечивается глюонным взаимодействием, по интенсивности приблизительно равным сильному.

Таким образом, любой материал по внутреннему строению представляет собой своеобразную, состоящую из четырех слоев, “матрешку”, наружным слоем которой является система атомов, а внутренним — система кварков.

Как следует из описания “матрешки”, потребные для разрыва связей в ее слоях мощности и скоростные уровни энергетических потоков должны значительно и причем скачкообразно возрастать от системы атомов к системе кварков.

Важно подчеркнуть, что при работе любого предыдущего слоя “матрешки” последующие бездействуют и присущие им огромные силы и энергии взаимодействия не оказывают никакого сопротивления разрушению материала.

Из описания заложенной в слоях “матрешки” специфики сил и энергий внутрисистемных взаимодействий следует, что физическими основами, предопределяющими тонкий механизм разрушения материала, а также уровень его прочности и характер прочностных свойств, являются виды разрываемого в нем фундаментального взаимодействия в зависимости от характера и скоростного уровня воздействующего на материал потока энергии.

Таким образом, уровень прочности материала и специфика ее оценочных характеристик определяются особенностями строения задействованной и работающей при нагружении микроматериальной системы и присущими ей видом сил и энергии взаимодействия.

Важно напомнить, что по существующим воззрениям прочность материала трактуется лишь как свойство системы атомов, и что пока нет сведений о существовании обобщенного, систематизированного подхода к анализу поведения материала, работающего в режимах задействования каждой из имеющихся в нем четырех упомянутых систем.

О специфике разрушения материалов

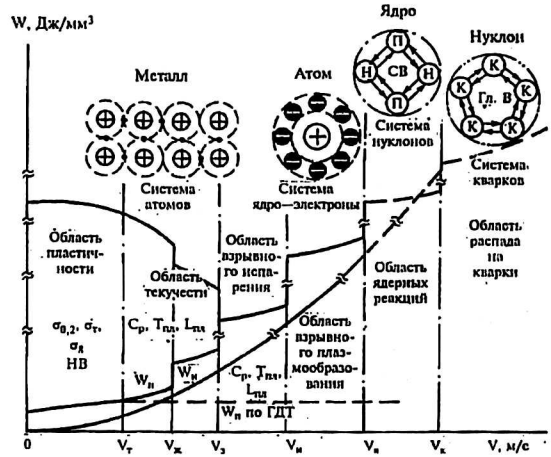
Рассмотрим случаи нагружения и разрушения материалов, когда они работают как системы атомов и ядер—электронов.

В интересах простоты изложения в качестве материала возьмем чистый металл, нагружаемый по схеме боек — мишень.

Полученные сведения, в принципе, можно распространить и на поведение материалов других классов, для чего потребуются некоторые оговорки, связанные со спецификой диаграмм состояния металлических сплавов и особенностями строения неметаллических материалов.

Прочность металла будем оценивать работой W , требуемой для разрушения единицы его объема (в Дж/м³) или после преобразования (Н/м²) (см. рисунок).

Схема автономных микроматериальных структурных систем металла и областей их разрушения



Полная прочность материала W складывается из собственно прочностной составляющей W_{Π} , определяемой видом взаимодействия, разрываемого в его работающей автономной системе, и инерционной составляющей $W_{И}$, пропорциональной произведению плотности материала на квадрат линейной скорости его разрушения V (см. параболу $W_{И}$ на рисунке).

В рассматриваемом случае скорость V меньше скорости бояка V_B на величину скорости его собственного разрушения V_P . При одинаковых материалах бояка и мишени V равна половине скорости бояка: $V_B = V + V_P = 2V$, откуда $V = 0,5 V_B$.

Разрушение и прочность металла как системы атомов

Возможны три характерных случая разрыва металлической связи.

В первом случае скорость разрушения V меньше скорости распространения в данном металле трещины V_T .

Первому случаю соответствует область пластичности (см. рисунок, $\sigma_{0,2}, \sigma_T, \sigma_B, \sigma_d, \sigma_{NB}$). При этом разрушению металла предшествует основанная на работе дислокационного механизма пластическая деформация, после завершения которой в нем зарождаются и проскакивают со скоростью V_T трещины, и он разрушается на кристаллические фрагменты, являющиеся колониями атомов.

С увеличением V количество разрываемых связей возрастает, а размер фрагментов уменьшается, поэтому W_{Π} увеличивается.

Измельчение фрагментов и увеличение количества разрываемых связей показано снижающейся кривой μ , выражающей отношение среднего размера фрагментов при данной скорости V к их размеру при статическом нагружении. На оси ординат $\mu = 1$.

В данной области инерционная составляющая $W_{И}$ незначительна, поэтому полная прочность W , возрастая, в основном определяется собственно прочностной составляющей W_{Π} . Наиболее распространенными и часто употребляемыми характеристиками прочности являются пределы текучести σ_T и $\sigma_{0,2}$, а также временное сопротивление или предел прочности σ_B .

Важно подчеркнуть, что эти характеристики определяются путем испытания специальных образцов, нагружаемых в режиме работы их материала в описываемой области.

Во втором случае скорость V равна или превышает скорость распространения в нагружаемом материале трещины V_T , но остается меньше скорости распространения в нем упругих продольных волн, т. е. звука V_3 . В связи с этим при нагружении металла трещины в нем не возникают и он, разрушаясь, переходит в текучее состояние, уподобляясь некоей вязкой жидкости. По этой причине соответствующая данному случаю область поведения металла названа областью текучести (см. рисунок, C_p , $T_{пл}$). В ней размеры образующихся фрагментов металла с увеличением V уменьшаются более резко (см. ход кривой μ), что обусловлено увеличением количества разрываемых межатомных связей. По этой причине W_{II} возрастает более интенсивно.

Распаду металла на фрагменты и в этой области также предшествует работа дислокационного механизма с закономерным возрастающими плотностью дислокаций, скоростями их движения и увеличивающимся числом пересекающихся в зернах металла плоскостей скольжения. Это приводит к измельчению образующихся фрагментов. При скорости $V_{Ж}$ эти фрагменты оказываются равновеликими с кластерами, из которых, согласно теории жидкого состояния металлов [3—5], состоит жидкая фаза при температуре плавления. Кластеры являются мелкими кристалликами с сохранившимся близким порядком.

Согласно упомянутой теории, при образовании в металле кластеров разрывается всего от 3 до 5 % межатомных связей. Это позволяет судить о том, сколь малое их количество разрывается при $V < V_{Ж}$ и особенно ничтожное в области пластичности.

С чисто физической точки зрения при разрушении со скоростью $V_{Ж}$ металл фактически плавится. Его W_{II} скачкообразно возрастает на величину скрытой теплоты плавления (см. рисунок), чему соответствует скачок μ . При дальнейшем увеличении V размер кристалликов продолжает уменьшаться, а W_{II} возрастает.

Таким образом, при нагружении металла в области текучести его прочность W оказывается значительно выше, чем в области пластичности. Существенно отличается и характер его поведения. Это исключает возможность оценки его прочностных свойств характеристиками, определенными в области пластичности.

Согласно фундаментальному положению академика М. В. Кирпичева о соответствии оценочных параметров сущности явлений [6], каждой из областей нагружения должны соответствовать свои, обусловленные спецификой поведения материала характеристики прочности, распространять которые на другие области неправомерно.

Учитывая, что при разрушении в данной области металл ведет себя как при нагреве до температур, близких, равных и превышающих температуру плавления, его прочностную составляющую W_{II} правомерно оценивать, используя такие хорошо известные термодинамические характеристики, как удельная теплоемкость при постоянном давлении C_p , температура плавления $T_{пл}$ и скрытая теплота плавления $L_{пл}$ [3—5].

Другая составляющая прочности W_I и в данном случае пропорциональна произведению плотности материала на квадрат скорости разрушения V .

В третьем случае — скорость V равна или несколько превышает V_3 (см. рисунок). Важно отметить, что в результате исследований, проведенных известными учеными, установлено, что по отношению к скорости движения дислокаций скорость V_3 является асимптотой. Она является также наибольшей скоростью передачи в материале механических перемещений [7—11]. При V_3 разрываются все 100 % межатомных связей, и металл испаряется, т. е. его

первичной реакцией является испарение. Сдвиговая пластическая деформация не происходит, и кривая μ , ниспадая до нуля, прекращает свое существование. При V , несколько большей V_3 , образуется перегретый пар.

В связи с кратковременностью разрушения металла в данном случае процесс его распада уподобляется взрыву, поэтому рассматриваемая область (область $V_3 - V_{II}$), получила название области взрывного испарения.

При $V = V_3$ собственная прочность металла W_{II} подсказывает на величину скрытой теплоты кипения металла. Логично, что и в этой области W_{II} металла следует оценивать, используя такие термодинамические характеристики как C_p , температура кипения и скрытая теплота испарения.

Инерционная составляющая прочности металла W_{II} в данной области также определяется плотностью и квадратом скорости разрушения V .

Разрушение и прочность металла как системы ядра—электроны

Если нагружающий поток энергии по своей мощности и скоростному уровню способен срывать с орбиталей окружающие ядра электроны, то металл работает как система ядра — электроны. Первичным продуктом его разрушения в этом случае является плазма.

Степень ионизации зависит от количества сорванных с орбиталей электронов, и определяется мощностью и скоростным уровнем нагружающего потока энергии.

Работе металла в этом режиме соответствует область скоростей $V_{II} - V_{Я}$ (см. рисунок).

Ввиду кратковременности процесса ионизации и весьма высокой скорости выброса плазмы разрушение металла в данной области нагружения также имеет характер взрыва, вследствие чего сама область может быть названа областью взрывного плазмообразования. При этом по мере увеличения мощности и скоростного уровня нагружающего металл энергопотока возрастает V и повышается степень ионизации.

Собственно прочностная составляющая W_{II} в данной области должна оцениваться энергозатратами на ионизацию, определяемыми по законами квантовой механики.

Составляющая W_{II} , как и в предыдущих областях, определяется плотностью металла и величиной V^2 .

О гидродинамической теории кумуляции

В 40-е гг. XX столетия появилась так называемая гидродинамическая теория кумуляции [ГДТ], с помощью которой ее создатели академик М. А. Лаврентьев и американский проф. Д. Тейлор независимо друг от друга пытались объяснить поведение стальной брони под воздействием очень высокоскоростной струи, образуемой при попадании в броню кумулятивного снаряда.

Изложенные в данной статье сведения, особенно касающиеся поведения материалов при скоростях V , превышающих скорость распространения трещин V_T , формировались на основе целенаправленного и конструктивного анализа весьма существенных экспериментальных факторов, противоречащих ГДТ.

При попадании в бронеобъект кумулятивного снаряда в результате взрыва бризантного ВВ образуется высокоскоростная медная струя, представляющая собой прутки, головная скорость которого составляет ~ 10 км/с, а хвостовая — 1,5—2,0 км/с. Во вторую мировую войну такие снаряды пробивали любую стальную броню.

Авторы ГДТ полагали, что при ударе кумулятивной струи развивается колоссальное давление (по М. А. Лаврентьеву, порядка 1 000 000 атм). По мнению авторов ГДТ, при таком давлении материалы соударяющихся струи и брони ведут себя как идеальные жидкости. При этом сильнее расходуется более легкий материал, т. е. стальная броня. Исходя из этого, для защиты бронееквивалентов предлагалось делать броню из более тяжелых, чем сталь, материалов. Но такое решение конструкторами танков было категорически отвергнуто, поскольку приходящаяся на броню доля веса (массы) танка и без того была предельной.

При анализе положений ГДТ нами подмечены и осмыслены следующие факторы.

1. Что означает “развивающиеся колоссальные давления”? Ведь давление, оказываемое на броню струей, может возникнуть только благодаря такому же по величине противодействию со стороны брони. Это наталкивает на мысль об очень высоких прочностных характеристиках брони при ее высокоскоростном нагружении.

2. Как показал опыт, намного более легкие, чем сталь, горные породы (базальт, корунд, карборунд, кварц), а также оксиды, карбиды, нитриды и другие вещества, вопреки ГДТ, защищают от кумулятивной струи лучше, чем сталь.

В связи с изложенным нами было сочтено неправомерным полагать, что материалы соударяющихся кумулятивной струи и стальной брони ведут себя как идеальные жидкости, и что, по-видимому, при увеличении скорости разрушения закономерно возрастает сопротивление материала разрушению, т. е. его прочность.

Далее возник вопрос о том, какими же характеристиками следует оценивать прочностные свойства материалов при высоких и сверхвысоких скоростях нагружения.

Поскольку при подобном нагружении материал фактически плавится и даже испаряется, то целесообразнее всего сопротивление разрушению выражать через такие хорошо известные термодинамические характеристики, как удельная теплоемкость C_p , скрытые теплота плавления и испарения, температуры плавления и кипения. Именно благодаря справедливости данного положения отмеченные в п. 2 очень легкие неметаллические материалы (горные породы и т. д.), обладающие очень высоким комплексом термодинамических свойств (особенно C_p), гасят кумулятивную струю интенсивнее, чем сталь.

Справедливости ради добавим, что сам академик М. А. Лаврентьев под влиянием экспериментальных данных признал, что ГДТ требует своего дальнейшего развития [12].

Первая помещенная в открытой публикации критика ГДТ с чисто материаловедческих позиций была дана автором предлагаемой статьи в работе [1], после чего положенная в основу парадигма развивалась в других работах автора.

Анализ истории развития науки показывает, что смена действующих в течение определенного исторического периода парадигм новыми является неизбежным и закономерным явлением. Положенная в основу данной статьи концепция представляет собой очередную парадигму.

О тепловом эффекте, сопутствующем разрушению металла

Для более полного представления о физических основах поведения металла при нагружении следует рассмотреть вопрос о роли и происхождении теплового эффекта, сопутствующего его деформации и разрушению.

Во время деформации и разрушения металла, работающего как система атомов, в нем в результате разрыва металлической связи освобождается определенное количество энергии. Благодаря этому в деформированном металле, а также в продуктах его разрушения возрастает амплитуда колебаний атомов и увеличивается внутренняя энергия.

Согласно молекулярно-кинетической теории, пришедшей на смену теории теплорода, безраздельно господствовавшей в качестве классической, теплота является своеобразной формой движения атомов и молекул, меру которого принято оценивать кинетической энергией в джоулях, а интенсивность — температурой.

Учитывая сказанное, вышеописанное увеличение амплитуды колебаний атомов в металле и рост его внутренней энергии можно квалифицировать как сопутствующий деформации и разрушению металла тепловой эффект с присущими ему характеристиками — количеством теплоты L и температурой T .

В связи с изложенным весьма важно подчеркнуть, что тепловой эффект является закономерным следствием разрыва межатомных связей, а его параметры L и T зависят от количества освободившейся при этом энергии, т. е. от режима нагружения.

Правомерно полагать, что тепловой эффект должен возникать и в результате освобождения энергии связей при работе системы ядра—электроны. В этом случае он будет осуществляться через движение ядер в продуктах разрушения, а его параметры L и T будут более значительными, чем при работе системы атомов.

О физических основах обработки изделий концентрированными потоками энергии

Знание основ физической природы сопротивления металла разрушению и физической сущности сопровождающего разрушение теплового эффекта открывает возможность по-новому проанализировать процессы, происходящие на поверхности металлических изделий, упрочняемых путем обработки концентрированными потоками энергии [КПЭ], включая электронно-лучевую [ЭЛО] и лазерную.

Результаты анализа будут способствовать преодолению неблагоприятного положения в одной из важных отраслей нашей промышленности, связанной с применением КПЭ.

Согласно мнению ведущего специалиста в этой области А. А. Углова, причиной нашего отставания в обработке изделий КПЭ от западных стран является неэффективность используемого у нас научно-технического подхода к исследованию процессов при обработке изделий КПЭ, базирующегося на теории теплопроводности. Этот подход не обеспечивает установления взаимосвязи между параметрами КПЭ и образующейся на обработанной поверхности структурой [13].

Как отмечает А. А. Углов, в настоящее время описываются лишь результаты обработки, а не анализ важнейших элементов ее процесса. Не раскрыты механизмы тепло- и массопереноса, а также химико-термических эффектов при обработке КПЭ.

Сказанное обуславливает необходимость раскрытия подлинных, т. е. физических основ поведения металла под воздействием КПЭ.

Обработка изделий КПЭ, в сущности, является ни чем иным, как дозированным технологическим разрушением металла высокоскоростными потоками энергии.

Согласно имеющимся сведениям, продуктами разрушения металла КПЭ могут быть пары или плазма [14], поэтому его поведение при этой обработке надо анализировать, используя описанные ранее механизмы разрушения металла в областях взрывного испарения и взрывного плазмообразования.

Электронный и лазерный лучи следует рассматривать как инструменты, представляющие собой высокоскоростные потоки микроматериальных частиц, имеющие огромную мощность. Эти потоки, воздействуя на материал, в зависимости от их удельной мощности, разрушают в нем фундаментальные связи в системах атомов или ядер—электронов, порождая сопутствующий разрушению тепловой эффект.

Возрастающая до очень высоких значений температура и локальное деление луча оказывают существенное влияние на ход химических реакций на упрочняемой поверхности и на возникновение в ней очень больших по величине термических и фазовых напряжений.

Вследствие этого в образующемся упрочненном слое источники Франка — Риды генерируют высокую плотность дислокаций, сочетающуюся с возникающими сверхтвердыми наночастицами, препятствующими работе дислокационного механизма пластической деформации.

Таким образом, образующаяся в упрочненном слое комплексная дислокационная структура обеспечивает ему высокие прочностные характеристики.

Интересно заметить, что, как отмечает И. В. Зуев в работе [14], еще в 1969 г. Гидт и Тонг рассматривали электронный луч как высокоскоростной индентор. Однако с нашей точки зрения они не могли получить положительных результатов, поскольку действие луча ими истолковывалось с позиций ошибочной ГДТ.

Весьма важно установить физическую природу экспериментально обнаруженного явления автоколебаний температурного поля (АТП) при обработке изделий КПЭ, которое, по мнению одного из первооткрывателей этого явления И. В. Зуева, является фундаментальным направлением дальнейшего развития ЭЛО и лазерной обработки [14]. Явление АТП было обнаружено при удельной мощности электронного луча 10^5 — 10^6 Вт/см².

При указанных весьма высоких значениях удельной мощности электронного луча благодаря возникающему очень интенсивному противопотоку продуктов разрушения эффективность воздействия очередных элементов луча на фундаментальные связи обрабатываемого материала снижается настолько, что количество вновь образующихся в единицу времени продуктов разрушения, их кинетическая энергия, а также сопутствующий тепловой эффект существенно уменьшаются, но тепловой эффект, т. е. количество теплоты и уровень температуры, является ни чем иным, как символом того самого “температурного поля”, которое имели в виду первооткрыватели АТП.

Благодаря уменьшению интенсивности противопотока расстройство очередных элементов луча ослабляется, и он снова начинает разрушать обрабатываемый материал с прежней интенсивностью до тех пор, пока вновь усилившийся противопоток не приведет его в расстроенное состояние.

В связи с изложенной физической природой процесса обработка материалов КПЭ, начиная с какого-то критического значения удельной мощности, неизбежно и закономерно должна происходить в режиме колебаний, имеющих определенную частоту и амплитуду (включая и сопутствующие разрушению колебания температуры), что и было обнаружено экспериментально. Как указывает И. В. Зуев, частота АТП при ЭЛО составляет 1—10 кГц, а амплитуда — 500—1000 °С.

Таким образом, АТП являются закономерным следствием разрушения материала КПЭ при критических значениях удельной мощности, обусловленным физической природой и спецификой тонкого механизма разрушения.

В заключение данного раздела можно отметить, что раскрытие физических основ поведения металла при обработке КПЭ окажется полезным как при совершенствовании технологии обработки, так и при создании соответствующего оборудования для обработки изделий КПЭ.

Используя специфику изложенного подхода, специалисты получают возможность заинтересованно проанализировать происходящие при обработке материалов КПЭ процессы, не только исходя их традиционно сложившихся представлений, основанных на теории теплопроводности, но и учитывая содержащиеся в предлагаемом подходе подлинно физические представления.

Заключение

В результате рассмотрения вопроса о физических основах природы прочности и разрушения материалов показано, что существующее понятие о прочности основано на понимании внутреннего строения материалов только как системы атомов, связанных электромагнитным взаимодействием за счет валентных электронов. Оно не учитывает последних достижений физики твердого тела, в соответствии с которыми в любом материале имеются четыре автономные микроматериальные системы с присущими каждой из них своими по интенсивности и природе силами взаимодействия, от которых зависят не только уровень прочности материала, но и специфика ее характеристик.

Работа каждой из этих систем при нагружении материала зависит от характера воздействующего потока энергии, его мощности и скоростного уровня, определяющего время воздействия.

Таким образом, понятие о прочности материалов оказывается более сложным, чем существующее до сих пор. Оно может быть уяснено, исходя из положений, изложенных ниже.

Любой нагружаемый материал необходимо рассматривать как подобную "матрешке" совокупность составляющих иерархический ряд следующих автономных систем микроматериальных структур: атомов, ядер с электронами, протонов с нейтронами (нуклонов), кварков.

Морфологическая целостность, т. е. прочность каждой из этих систем, обеспечивается присущим только ей видом фундаментального межматериального взаимодействия между ее дочерними субструктурами, а именно: электромагнитным — между атомами, электростатическим — между ядрами и электронами, сильным — между нуклонами и глюонным — между кварками.

Для разрыва каждого из перечисленных видов внутрисистемного взаимодействия и разрушения материала как той или иной системы на свои дочерние субструктуры необходим свой характер нагружения, обладающий не только достаточной мощностью, но и достаточно высоким скоростным уровнем воздействия на материал потока энергии.

Установлено шесть характеристических скоростных областей нагружения материала, существенно различающихся физическим механизмом разрушения и зависящей от него спецификой доминантных характеристик прочности, ответственных за разрушение только в данной области. Определены корректно установленные границы областей.

Показано, что прочность является сложным понятием, не сводящимся только к понятию, оцениваемому характеристиками механических свойств σ_t , $\sigma_{0,2}$, σ_B .

Показана корреляция между скоростью нагружения и параметрами сопутствующего разрушению материала теплового эффекта — количеством теплоты и температурой, зависящими от освободившейся энергии разорванных связей.

Изложенный подход позволяет выбирать или синтезировать наиболее эффективный класс материалов для работы в заданной области нагружения; используя специфические характеристики доминантных прочностных свойств, осуществлять корректные расчеты на прочность при работе материа-

лов в различных скоростных областях нагружения; истолковывать процесс обработки материалов КПЭ как дозированное, технологически управляемое высокоскоростное разрушение материала, что позволяет рационализировать как технологический процесс обработки, так и применяемое оборудование в интересах получения наилучших результатов обработки.

Л и т е р а т у р а

1. Спирихин И. П. О природе прочности материалов при высокоскоростном нагружении: Док. АН СССР. 1989. Т. 309. № 6. С. 1407.
2. Спирихин И. П. О реакции материалов на скорость нагружения//МИТОМ. 1997. № 2. С. 33.
3. Радченко И. В. Строение жидких металлов//УФН. 1953. № 51. С. 71.
4. И де Бур. Теория жидкого состояния//Там же. С. 41.
5. Вертман А. А., Самарин А. М. Строение и свойства жидких металлов: Тр. ИМЕТ им. А. А. Байкова. Вып. 10. Metallurgia, металловедение, физико-химические методы исследования. — М.: изд-во АН СССР. 1962. С. 108—131.
6. Кирпичев М. В. Теория подобия. — М.: изд-во АН СССР, 1953. — 96 с.
7. Новиков И. И. Дефекты кристаллической решетки металлов. — М.: Metallurgizdat, 1968. — 188 с.
8. Коттрелл А. Х. Дислокация и пластическое течение в кристаллах. — М.: Metallurgizdat, 1958. — 267 с.
9. Шестопалов Л. М. Деформирование металлов и волны пластичности в них. — М.: изд-во АН СССР, 1958. — 268 с.
10. Гордон Дж. Почему мы не проваливаемся сквозь пол/Пер. с англ. — М.: Мир, 1971. — 272 с.
11. Jonston W., Gilman J./J. Appl. Phys. 1959. V. 1. № 130. P. 129—144.
12. Лаврентьев М. А., Шабат Б. В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. — М.: Наука, 1977. — 408 с.
13. Узлов А. А./Прикладная физика. 1994. Вып. 1. С. 33.
14. Зувев И. В. Обработка материалов концентрированными потоками энергии. Рекомендовано министерством общего и профессионального образования РФ в качестве учебного пособия. — М.: МЭИ ТУ, 1988. — 162 с.

On the physical principles of nature of materials strength

I. P. Spirikhin

Moscow Power Engineering Institute (Technical University), Moscow, Russia

As a result of analysis of achievements of physics of solids on materials structure it is determined that every material is a hierarchical row of four autonomous micromaterial systems. They are: system of atoms; system of atomic nuclei and electrons; nucleon system of neutrons and protons; quark system. Strength of the each system is provided for its own type of intermaterial interaction. It is demonstrated fine physical mechanism of destruction of metal when being loaded as system of atoms and system of nuclei-electrons. Under that point, the specific characteristics of metal strength are determined, and the methods of their evaluation for cases of loading, essentially different in destructive mechanism are substantiated. It is demonstrated the correlation between loading velocity and parameters of heat efficiency following the material destruction. The physical nature of heat efficiency is disclosed. The processing of articles with concentrated current of energy is treated as measured technologically controlled high-velocity destruction of metal. It allows to rationalize substantially both technological processing and equipment applied.