

**К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИКИ  
ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ**

*Бул жумушта ар кандай материалдардын механикалык деформалоо изилдөөрү менен катар, алардын талкалоо маселелери каралган.*

*В данной работе рассматриваются вопросы, связанные с исследованием механики деформирования и разрушения различных материалов.*

*In the given work it is considered questions the mechanics of deformation connected with research and destructions of various materials.*

Производство материалов с новыми или улучшенными свойствами является актуальнейшей проблемой современности. При этом осуществляется переход от исторически сложившегося эмпирически-индуктивного рассмотрения к теоретическому проникновению во взаимосвязи между производством материалов, их структурой и их свойствами. Упомянутое развитие фундаментальных исследований привело к формированию научных направлений в области материалов, тесно связанных как с естественными, так и с техническими разделами. Все изложенное находит отчетливое выражение в области деформирования и разрушения материалов.

Исследование разрушения конструкционных и инструментальных материалов имеет важное значение, поскольку происходящий процесс разрушения часто становится причиной повреждений и катастроф. При этом

практика свидетельствует о том, что традиционные методы расчета прочности механически нарушенных деталей не гарантируют высокую надежность. В наибольшей мере изложенное относится к хрупкому разрушению, которое может быть вызвано даже очень малыми нагрузками, если в материале имеются трещины, обусловленные технологией или возникшие в результате эксплуатации. Применение материалов повышенной прочности или с пониженной пластичностью способствует увеличению возможности хрупкого разрушения /4, 7/.

Учитывая изложенное, исследование механизмов разрушения является не только определением границ нерушимости материалов или смещением их в сторону расширения. Поэтому в технике разрушения и измельчения материалов важную роль играет поиск эффективных способов разрушения, минимизирующих затраты энергии на этот процесс /8/.

Из упомянутой комплексной проблемы, прежде всего, следует необходимость анализа физических причин разрушения и синтеза критериев, позволяющих количественно описать поведение материалов при разрушении. Решению этой проблемы современности посвящено целое направление исследований - механика разрушения, занимающаяся вопросами анализа надежности и безопасности конструкций, подверженных опасности разрушения /1-7/ .

Фундаментальные исследования в приложениях в области механики разрушения отличаются ярко выраженным междисциплинарным характером. Традиционно процесс разрушения рассматривается как процесс образования и роста трещин, оканчивающийся потерей устойчивости одной из трещин по достижению ею некоторого критического размера. В этой связи к изучению механики разрушения должны привлекаться следующие результаты и методы:

- исследования по физике твердого тела, посвященные образованию трещин и их распространению на атомарном и субмикроскопическом уровнях, а также установлению напряженного и деформированного

состояния в деталях технических средств, имеющих трещины, и выбора критериев, определяющих запас прочности;

- материаловедческие исследования по выявлению влияния микроскопической структуры материала на сопротивление стабильному и нестабильному распространению трещин;

- развитие методов испытаний материалов для определения их прочностных характеристик, а также неразрушающих методов определения размеров дефектов.

Несмотря на проведение системных исследований многочисленными школами по решению перечисленных задач, в последнее время достигнуты лишь частичные успехи в построении теоретически обоснованной и экспериментально подтвержденной теории разрушения. В то же время необходимо решить многообразные проблемы прежде, чем станет возможным предсказать поведение больших конструкций на основе материалофизических механизмов разрушения.

Проблемы физики твердого тела связаны с установлением элементарных процессов образования трещин и их распространением. Решение этих проблем требует дальнейшего развития теории дислокаций, и прежде всего - теории процессов, развивающихся на начальной стадии растущей трещины. В фундаментальных работах /1-7, 10, 14, 15, 16, 17/ установлено, что в образовании микротрещин на атомарном уровне главенствующую роль играют как тепловые колебания атомов, так и развитие дислокаций, индуцируемых напряжениями. Благодаря использованию современной компьютерной техники в последнее время удалось установить смещения атомов относительно положения равновесия и связанное с этим возникновение разрушающих дислокаций /8, 9, 11, 18, 20/.

Однако успехов в истолковании макроскопических процессов разрушения на основе упомянутых атомарных механизмов разрушения следует ожидать при получении системных результатов от коллективных эффектов, сопровождающих движение дислокаций. В то же время следует

иметь в виду, что другие проблемы в рассматриваемой области исследований связаны с кинетикой распространения трещин. В особенности это относится к случаям динамических нагрузок, а также действиям среды, в которую погружено рассматриваемое тело. Сюда относятся данные о причинах затупления вершины трещины, имеющих решающее значение для устойчивого их распространения, а также сведения о разрушении материалов. В особенности это относится к области между отдельными трещинами, а также к взаимодействию разрушающих дислокаций с включениями, пластическими нестабильностями или поверхностными дислокациями. Большое внимание уделяется динамике поведения нестабильно распространяющихся трещин. Подобные процессы образования микротрещин, типичные для материалов с кристаллической структурой, можно наблюдать в аморфных или кристаллических высокополимерных материалах /4, 5, 12/.

Для непосредственного наблюдения за процессами между трещиной и микроструктурой должны в большей степени использоваться возможности растровых и электронных микроскопов высокого разрешения - экспериментальные исследования по деформации материалов. При этом в области системных исследований необходимо установить влияние микроструктуры на распространение трещин и разработку технологий создания материалов со структурой, хорошо сопротивляющейся разрушению.

Как известно /7, 9, 11, 16/, гетерогенное строение имеет большая часть материалов. При этом их структура состоит из разных фаз с разными механическими и физическими свойствами. Следует особо отметить, что в проводимых исследованиях в недостаточной мере учитываются особенности и влияние на механику разрушения гетерогенности структуры, которая оказывает существенное влияние на процесс образования трещин и их распространение. При этом нелишне обосновать эмпирическую зависимость

предела прочности от структуры для металлов или комбинированных материалов.

Рентгенографическая техника определения напряжений дает одну из возможностей экспериментального анализа распределения нагружающих и собственных напряжений в различных фазах. Определение микронапряжений перед острием трещины, обусловленных структурой дислокаций, является основополагающей задачей в этой области. При этом, как известно [2, 19], растровый электронный микроскоп находит все большее применение при изучении явлений разрушения и причин повреждений, так как по микрофрактографическому изображению поверхностного разрушения можно судить о виде и параметрах переменной нагрузки, а также количественно определять состав материала в зоне, примыкающей к поверхности разрушения.

Механика разрушения связывает воедино два направления исследования материалов: первое - установление определяющих величин; второе - использование неразрушающих методов определения качества и выявления дефектов материала. Первое из них заключается в выборе показателей, наиболее полно характеризующих поведение и свойства материалов под нагрузками. При этом используются стандартные методы испытаний, позволяющие определять количественные величины сопротивления материалов разрушению. Второе направление состоит в разработке методов постоянного контроля за возникновением дефектов (трещины, поры и т.п.) в течение всего технологического процесса.

Наряду с традиционными методами неразрушающих испытаний материалов необходимо также использовать новые разработки, использующие физические эффекты, часть которых известна. Примером тому является анализ звукового излучения, основанный на том, что при отсутствии микроконцентраций напряжений в процессе образования микротрещин высвобождающаяся потенциальная энергия излучается в виде упругих волн. Последние могут быть зарегистрированы в широком

диапазоне частот. Этот метод может применяться для контроля за состоянием элементов конструкций, подвергающихся разрушению. К ним следует отнести оболочки высокого давления, атомные реакторы, ответственные узлы летательных аппаратов, трубопроводы и др.

Математическое описание макроскопических напряженных и деформированных состояний в структурах с трещинами предполагает использование показателей, характеризующих материал в механике разрушения, а также для расчета и определения сроков службы деталей, конструкций и инструмента. Наиболее предпочтительным методом здесь является метод конечных элементов с использованием специальных элементов с трещинами. При этом исследования должны быть сосредоточены в области расширения существующих феноменологических гипотез дополнением их критериями разрушения. Для этого потребуются аналитическое описание общих напряженных состояний и геометрий разрушения, привлечение упругих и пластических свойств материалов, а также учет собственных напряжений и динамических эффектов при нестабильном распространении трещин. Важное значение для практического применения выводов механики разрушения имеют доступные измерению физические величины, которые однозначно связывают напряженные и деформированные состояния в области вершины трещины с поведением материала.

Системные результаты фундаментальных исследований подтверждают, что процесс разрушения может быть с наибольшей точностью описан на языке специальных показателей механики разрушения, чем традиционными показателями прочности. Тем самым эти результаты показывают, что созданы предпосылки для физически обоснованной максимизации сопротивляемости разрушению материалов и деталей конструкцией. Далее, просматриваются возможности применения механики разрушения при описании процессов износа, измельчения, резания, копания, сейсмике и т.д.

Исследования в области разрушения различных грунтов рабочими органами землеройных машин под гидростатическим давлением, теоретические положения, экспериментальные разработки и создание новых конструкций машин на сегодняшний день являются актуальными.

Актуальными являются задачи, связанные с разработкой и совершенствованием средств механизации подводно-технических работ при строительстве на дне водоемов, добыче полезных ископаемых, очистке dna водохранилищ и озер, а также возведении подземных сооружений в стесненных условиях способом «стена в грунте», объем которых постоянно возрастает /21/.

Исследования разрушения грунтов в подводных условиях были проведены с рабочими органами землеройных машин, такими, как отвал, рыхлитель-планировщик, штампы различной конфигурации и ножами. Было выявлено при взаимодействии рабочих органов землеройных машин под толщей воды, что меняются физические картины резания и копания грунтов в зависимости от массива. При больших глубинах погружения рабочих органов существенно влияет гидростатическое давление, которое создает дополнительную пригрузку в зоне разрушения грунтов. Также проведенными рядом авторов исследованиями, установлены увеличение энергоемкости резания и копания грунтов рабочими органами землеройных машин под водой /22,23/. Такое увеличение сопротивления резанию и копанию объясняется ростом сил трения в контактирующих поверхностях между рабочей гранью отвала или клинья и грунтовым пластом.

В Кыргызском государственном университете строительства, транспорта и архитектуры разработаны рабочие органы землеройных машин /24/, которые позволяют снизить вредное влияние гидростатического давления и тем самым уменьшить энергоемкость процессов резания и копания грунтов под водой.

Предлагаемое техническое решение относится к гидромеханизации и может быть использовано при подводной разработке различных грунтов гидромеханизированным способом.

Известен рабочий орган роторного экскаватора, предназначенный для рытья траншей и выноса грунта из них и состоящий из приводного ротора с конусным ободом, на котором с помощью пальцев закреплены резцы, в хвостовой части которых, прилегающей плоскостью к ободу, выполнены выемки для размещения ограничителей поворота, обеспечивающих очистку резцов от налипающего в процессе разработки грунта (Авт. свид. СССР № 1641946, международный класс E02F 3/24, опубл. 15.04.91).

Недостатком известного рабочего органа при использовании его для подводного резания грунтов в условиях гидростатического давления является низкая эффективность его работы, обусловленная необходимостью увеличения усилия резания грунта с увеличением глубины погружения рабочего органа.

Известен также фрезерный землеройный рабочий орган, включающий диски с отверстиями, в которых посредством осей и концевых роликов установлены резцы с возможностью поворота между стяжными балками (Авт. свид. СССР № 1716002, международный класс E02F5/02, опубл. 29.02.92).

В указанном фрезерном землеройном рабочем органе приняты меры к снижению энергоемкости процесса резания грунта за счет получения оптимального угла резания и отбрасывания грунта путем изменения угла расположения режущих элементов (резцов) во время рабочего процесса, но он конструктивно сложен и ненадежен в работе.

Известен также принимаемый в качестве прототипа рабочий орган землеройной машины, включающий установленный на валу ротор, имеющий центральный диск с укрепленными на нем по периферии резцами (Авт.свид. СССР № 1408028, международный класс E 02 F5/02, опубл. 07.07.88).



Резцы известного рабочего органа землеройной машины эффективно работают только на однородных грунтах без каменистых включений. При разработке грунтов с гравийно-галечниковыми включениями происходят частые сколы резцов из-за их малой конструктивной прочности. Кроме того, при резании грунта под водой в условиях гидростатического давления увеличивается сопротивление резанию грунта и повышается энергоемкость рабочего процесса. Это значительно сокращает срок службы резцов.

Задачей предлагаемого технического решения являются снижение энергоемкости рабочего процесса и повышение эффективности работы рабочего органа землеройной машины при подводной разработке грунта.

Поставленная задача в рабочем органе землеройной машины, включающем установленный на валу ротор, имеющий центральный диск с укрепленными по его периферии резцами, решается по первому варианту тем, что на лобовой плоскости каждого резца в виде износостойкой наплавки выполнены продольные ребра жесткости, в каждом из которых и теле резца образованы сквозные отверстия, равномерно распределенные по длине резца; по второму варианту решается тем, что на лобовой плоскости каждого резца выполнен продольный паз, внутри которого с возможностью возвратно-поступательного перемещения и фиксированными боковыми зазорами закреплена с помощью шпилек и гаек металлическая пластина, задняя плоскость которой опирается на размещенные на дне продольного паза резиновые подушки, сквозь отверстия в которых и теле резца пропущены закрепляющие металлическую пластину шпильки.

Наличие на резцах выполняемых по первому варианту продольных ребер жесткости и сквозных отверстий повышает эффективность работы рабочего органа землеройной машины при подводной разработке грунта за счет увеличения конструктивной прочности резцов и снижает энергоемкость рабочего процесса благодаря эффекту смазки рабочих поверхностей резцов через сквозные отверстия, облегчающему разрушение грунта под водой.

Поскольку ребра жесткости размещены в наиболее изнашиваемых областях резцов, а в промежутках между ними, занятых основным металлом, износ минимальный и изгибающие напряжения в резцах максимальные, то достигается высокая износостойкость резцов при сохранении их высокой прочности при действии циклических напряжений в процессе подводной резки грунта.

Выполнение резцов по второму варианту обеспечивает во время резания грунта под водой создание смазывающей прослойки воды между грунтом и лобовой плоскостью резца, в результате чего снижается сила сопротивления разрушаемого грунта, т.е. снижается энергоемкость и повышается эффективность процесса резания грунта под водой.

Объединение двух технических решений связано с тем, что два предлагаемых варианта выполнения резцов рабочего органа землеройной машины решают одну и ту же задачу - снижение энергоемкости рабочего процесса и повышение эффективности работы рабочего органа землеройной машины при подводной разработке грунта - принципиально одним и тем же путем - созданием прослойки воды, существенно уменьшающей трение между лобовой плоскостью резцов и пластом срезаемого грунта. Выполнение резцов по первому варианту обеспечивает, кроме вышесказанного, высокую износостойкость резцов.

В заключение целесообразно отметить, что развитие прикладных методов механики разрушения предполагает равномерное развитие всех упомянутых выше направлений исследований. Это потребует координированного взаимодействия ученых и инженеров-конструкторов в области физики твердого тела, механики деформируемого твердого тела, материаловедения и разрушения различных грунтов на суше и под водой.

### **Список литературы**

1. Смирнов Б.И., Ярошевич В.Д. Физическая природа хрупкого разрушения металлов. – Киев: Наукова думка, 1965.

2. Иванова В.С. Усталостное разрушение металлов. – М.: Металлургиздат, 1963.
- 3 Котрелл А.Х. Атомный механизм разрушения. - М.: Металлургиздат, 1963.
- 4 Панасюк В.В. Предельное равновесие хрупких тел с трещинами. – Киев: Наукова думка, 1968. – 246 с.
5. Леонов М.Я. Элементы теории хрупкого разрушения //Прикладная механика и техническая физика. – 1961. - № 3. – С. 55-92.
6. Маккланток Ф., Аргон А. Деформация и разрушение материалов. - М.: Мир, 1970. - 443 с.
7. Махутов Н.А. Сопротивление элементов конструкций хрупкому разрушению. - М.: Машиностроение, 1973. – 201 с.
8. Морозов Е.М. Энергетическое условие «роста» трещин в упругопластических телах. - //Докл. АН СССР. – 1969. - Т. 187. - № 1. – С. 57-60.
9. Физическая природа пластической деформации и разрушение металлов: Сб. статей. - Киев: Наукова думка, 1969. - 134 с.
10. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. - М.: Мир,1974. - 640 с.
11. Cottrel A.H. Theory of brittle fracture in steel and similar metals. Met. Soc. of ALME-Trans.,v.212, n.2, 1958.p 192-202.
- 12 Прикладные вопросы вязкости разрушения /Под ред. Я.Б. Фридмана. - М.: Мир, 1968. - 552 с.
13. Фридман Я.Б. и др. Строение и анализ изломов металлов. - М.: Машгиз, 1960. - 128 с.
- 14.Вейбулл В. Усталостные испытания и анализ их результатов. - М.: Машиностроение, 1964. – 275 с.
15. Степанов М. Н. , Гиацинтов Е. В. Усталость легких конструкционных сплавов. - М.: Машиностроение, 1973. – 317 с.

16. Биргер И. А. Техническая диагностика. - М.: Машиностроение, 1978. - 234 с.
17. Потак Я.М. Хрупкое разрушение стали и стальных деталей.- М.: Оборонгиз, 1959.
18. Лифшиц Б. Г. Физические свойства металлов и сплавов. – М.: Машгиз, 1962.
19. Мальцев М. В. и др. Металлография цветных металлов и сплавов. Металлургиздат , 1960.
20. Попов Г.Г. , Усов А.М. Исследование усталостной прочности стали. - М.: Трансжелдориздат, 1958. - 132 с.
21. Тургумбаев Ж.Ж., Абсабиров Е.А. Особенности процессов разрушения грунтов рабочими органами землеройных машин в подводных условиях //Сб. научных трудов КГУСТА «Повышение эффективных показателей транспортных, строительно-дорожных машин и коммуникаций в условиях высокогорья и жаркого климата». – Бишкек, 2003.
22. Лобанов В.А., Хлыцов П.В. Особенности резания грунтов под гидростатическим давлением //Строительные и дорожные машины. – 1985. - № 5 – С.27-28.
23. Шаталов А.А. К вопросу теоретического обоснования подводного резания грунтов //Строительные и дорожные машины. – 1980. - № 1.- С.9-10.
24. Абсабиров Е.А. и др. Рабочий орган землеройной машины (два варианта). Патент № 624 М.Кл. Е 02 F 3/24, 9/28, Е 02 Д 17/16. Оpubл. 31.01.2004 г. в бюл. № 1.