

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Ресниной Натальи Николаевны на диссертацию Чеврычкиной Анастасии Александровны на тему «Нелокальные пространственно-временные эффекты при статическом и динамическом разрушении твердых тел», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

### **Актуальность темы диссертации**

При использовании любых видов материалов (сплавов, пластиков, керамик), особенно в конструкциях, несущих на себе нагрузку, важным является прогнозирование и расчет их долговечности. Это необходимо для того, чтобы в необходимый момент провести замену всей конструкции или ее части для предотвращения разрушения. Таким образом, расчет особенностей разрушения материалов является важной проблемой, как с научной, так и с практической точек зрения. Этой проблемой занимаются на протяжении долгого времени и уже разработаны необходимые критерии прочности. Однако в некоторых задачах материалы используют в нестационарных условиях, например, в условиях динамического нагружения, при котором нагрузка осуществляется за доли секунды. Многочисленные эксперименты показывают, что в таких «экстремальных» условиях материалы демонстрируют механическое поведение отличное от того, что материал демонстрирует при «медленном», квазистатическом нагружении. Различие наблюдается в значениях предела текучести и прочности, деформации до разрушения, механизмах деформирования и механизмах разрушения. Существуют критерии разрушения при медленном или динамическом нагружении, однако для применения важно иметь один подход, который бы позволял проводить расчеты механических свойств материалов при деформировании в широком интервале скоростей. Более того, для практического использования необходимо учитывать при расчете влияние различных параметров, таких как структура сплава или режимы деформирования до разрушения материалов. В связи с этим тема диссертационной работы Чеврычкиной А.А., посвященная использованию нелокального критерия инкубационного времени для описания разрушения материалов с разной структурой при деформировании с различными скоростями, является очень актуальной.

### **Новизна полученных результатов**

В диссертации впервые проведен сравнительный анализ применимости критериев Нейбера – Новожилова, Питерсона и Харлаба для расчета разрушения в задачах с различным распределением напряжений: при растяжении пластины с круговым отверстием, пластины с угловым вырезом, пластины с трещиной или при изгибе балки. Анализ полученных результатов показал, что нелокальные критерии не являются в достаточной мере универсальными, поскольку их нельзя рассматривать в рамках единого подхода (с одинаковым значением параметра «расстояния») для задач с регулярным и сингулярным полем напряжения.

Исследовано поведение алюминиевых сплавов с различной структурой, в том числе и с различным размером зерна, при различных скоростях нагружения от квазистатических до динамических. Показано, что нелокальный критерий инкубационного времени с единым набором параметров можно успешно использовать для описания поведения сплавов в

широком диапазоне скоростей. Установлено, что значение этого параметра коррелирует со структурой исследуемых сплавов.

Исследована температурная зависимость прочностных характеристик АБС пластика при его деформировании с различными скоростями. Показано, что разрушение АБС пластика при динамическом деформировании можно описать с использованием нелокального критерия инкубационного времени с единым набором параметров.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается использованием современных апробированных методик, согласием между расчетными и экспериментальными данными, согласием полученных результатов с существующими представлениями в области механики разрушения.

### **Значимость для науки и практики полученных автором результатов**

Результаты диссертационной работы Чеврычкиной А.А. имеют большую значимость для развития теории инкубационного времени и определения границ применимости данной теории, как с точки зрения применения материалов различных типов (сплавы, пластики, керамики) с различной структурой, так и с точки зрения условий разрушения (скоростей и температур деформирования). Для практического применения результаты данной работы важны поскольку позволяют разработать единый инженерный подход для прогнозирования разрушения материалов в разных условиях.

### **Оценка содержания и оформления диссертации**

Работа состоит из введения, четырех глав и заключения, изложена на 78 страницах. Список литературы содержит 91 наименование.

Во введении представлена актуальность темы исследования, описаны цель и задачи исследования, отмечена научная новизна работы, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, достоверность и апробация результатов, личный вклад автора.

Первая глава посвящена обзору научных работы по теме механики разрушения. Рассмотрены критерии прочности при статическом нагружении, критерии Нейбера – Новожилова, Питерсона и Харлаба. Проанализированы критерии прочности при динамическом деформировании. Рассмотрены экспериментальные методы изучения прочности материалов при статических и динамических нагружениях.

Во второй главе исследована применимость критериев Нейбера – Новожилова, Питерсона и Харлаба для решения задач, в которых присутствует неоднородное распределение напряжений. Рассмотрена задача о растяжении пластины с круглым отверстием и рассчитаны зависимости критического напряжения от диаметра отверстия. Рассмотрена задача о растяжении пластины с угловым вырезом и рассчитаны зависимости критического напряжения от угла раствора. Решена задача о растяжении пластины с трещиной. Рассмотрена задача об изгибе балки и рассчитаны зависимости критического напряжения от толщины балки. Все задачи решены с использованием трех критериев и на основании полученных данных определены параметры «расстояния», входящие в данные критерии. Установлено, что параметр «расстояния» сопоставим только при расчете объектов с одинаковым типом концентратора напряжений. Показано, что ни один из представленных критериев не позволяет описать разрушение объектов с разными типами распределения напряжений при использовании одного и того же параметра «расстояния».

Это усложняет применение данных критериев для широкого круга задач, поскольку в каждом случае будет необходимо определять параметр «расстояния».

В третьей главе описана методика определения прочности при ударных нагрузках. Представлена информация о модернизации метода определения ударной прочности с использованием копра с падающим грузом. Описаны объекты исследования. Показана применимость критерия инкубационного времени для описания зависимости критического напряжения от скорости деформирования.

В четвертой главе представлены экспериментальные и теоретические результаты исследования прочности алюминиевых сплавов и АБС пластиков при квазистатическом и ударном нагружении. Исследована скоростная зависимость критического напряжения в сплавах алюминия различного состава. Установлено, что чем больше доля хрупкой составляющей в изломе материала, тем выше динамическая прочность. Показано, что применение критерия инкубационного времени позволяет описать скоростную зависимость прочности для различных сплавов при деформировании в широком интервале скоростей. Исследована динамическая прочность сплава алюминия 1230 в крупнозернистом и ультрамелкозернистом состояниях. Показано, что чем меньше размер зерна, тем большее критическое напряжение. Установлено, что критерий инкубационного времени позволяет описать скоростную зависимость критического напряжения сплава с ультрамелкозернистой структурой.

Исследована динамическая прочность образцов, полученных аддитивными технологиями из АБС пластика. Получена скоростная зависимость динамической прочности при разных температурах и показано, что эти зависимости могут быть описаны с использованием критерия инкубационного времени, в котором учтены температурные зависимости критического напряжения и динамической прочности. Показано, что экспериментальные кривые могут быть описаны с использованием единого набора параметров, что важно для практического применения.

В заключении приведены основные результаты работы.

Работа оформлена в соответствии с требуемыми стандартами.

По тексту диссертации необходимо следующие замечания:

1. При решении задачи Кирша указано, что для формулы 2.9.  $x^*$  — точка максимума по  $x$  правой части выражения (2.9). Однако, в выражении 2.9. нет зависимости от  $x$ , там вместо  $x$  везде указан  $x^*$ .
2. Из текста диссертации неясно, как определяли процент вязкого разрушения?
3. При подстановке данных, представленных для учета температуры в скоростной зависимости предела прочности, получается, что энергия активации в формуле 4.2. равна 0.047 эВ. Какому процессу отвечает такое значение энергии активации и как этот процесс связан с распространением трещин, поскольку в работе указано, что разрушение пластика произошло за счет образования трещин.
4. Указано, что «Течение материала при температуре 1000С при испытании с малой скоростью деформации 180 1/с происходит примерно под углом 45 градусов к направлению слоев». На рисунке 23 а этого не видно. Указано, что «При повышенных скоростях деформации 987 1/с и 1745 1/с и температуре 1000С появляется зеркальная область с медленным развитием трещины» Что это означает, поскольку на рисунке 23 б этого не видно.
5. В тексте присутствуют опечатки. Например:

5.1. При рассмотрении критерия **Нейбера - Новожилова** указано, что «Единичный вектор  $\chi(\theta)$ , исходящий из начала координат полярной системы, составляет угол  $\theta$  с координатной осью ординат, см. рис. 1». Вместе с тем на рис. 1 указано, что угол  $\theta$  – это угол между вектором и осью абсцисс.

5.2. На страницах 12 и 23 представлена одна и та же формула нелокального критерия, однако, на странице 12 указано, что  $\sigma_c$  – это предельное напряжение равномерно напряженного материала, а на стр. 23, что это критическое напряжение материала без макро-дефектов.

5.3. При указании величин скоростей деформирования пропущен знак умножения, например на стр. 37.

6. В тексте диссертации присутствует жаргон и неудачный выражения:

«Полей напряжения с большими перепадами во времени и пространстве»;

«точкам перегиба поля напряжений»

«выпуклость распределения напряжений»

«Значения параметров расстояния по данным растяжения пластины»

Сделанные замечания являются уточняющими или касаются оформления работы. Они не снижают практической и теоретической значимости диссертационной работы Чеврычкиной А.А.

Диссертация Чеврычкиной Анастасии Александровны на тему: «Нелокальные пространственно-временные эффекты при статическом и динамическом разрушении твердых тел» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Чеврычкина Анастасия Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета

Доктор физико-математических наук,  
Профессор кафедры общей математики и  
информатики СПбГУ

*Реснина Н.Н.*  
15.02.2023

Реснина Н.Н.

