

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Гуткина Михаила Юрьевича на диссертацию Селютиной Нины Сергеевны на тему «Динамическая деформация и разрушение материалов на основе релаксационных моделей необратимого деформирования», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности

1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Диссертация Н. С. Селютиной посвящена разработке релаксационных моделей механического поведения однородных и неоднородных твердых тел в условиях пластической деформации и разрушения на основе единого подхода, в рамках которого разнообразные процессы релаксации описываются путем введения в критерии разрушения и пластической деформации характерного времени релаксации и эмпирической функции релаксации. Возникающие при этом эмпирические параметры релаксационного процесса – инкубационное время, амплитудная чувствительность и степень упрочнения – определяются из сравнения расчетных кривых, таких как зависимости предела прочности и предела текучести от скорости деформации или кривые «деформация-напряжение» при заданных скоростях деформации, с доступными из литературы экспериментальными данными. В предположении, что значения этих параметров релаксации не зависят ни от скорости деформации, ни от истории нагружения материала, автор экстраполирует его механическое поведение на высокие скорости деформации, исследует ряд эффектов механики разрушения и пластичности на деформационных зависимостях различных материалов и выявляет закономерности влияния структурно-временных характеристик гомогенных и гетерогенных материалов на их деформационный отклик в различных квазистатических, динамических и циклических режимах.

Актуальность темы диссертации. Тема диссертации безусловно актуальна. Разработка моделей механики деформируемого твердого тела, с помощью которых можно было бы прогнозировать пластичность и прочность материалов и конструкций в условиях различных динамических воздействий – это одно из основных направлений развития этой области знаний, имеющее огромное практическое значение.

Новизна полученных результатов. Новизна полученных в диссертации Н. С. Селютиной результатов совершенно очевидна. Использованный в работе непосредственный учет релаксационных процессов позволил впервые изучить широкий круг вопросов, связанных с динамическим необратимым деформированием различных материалов, от горных пород и бетонов до металлов, сплавов и металлополимерных композитных ламинатов. О новизне полученных автором результатов свидетельствует также тот факт, что они опубликованы в ведущих научных журналах с высокой репутацией.

Достоверность полученных результатов и выводов не вызывает сомнений. Вся работа построена на сравнении теории с опубликованными экспериментальными данными, и в большинстве случаев результаты расчетов хорошо согласуются с результатами экспериментов. Кроме того, работа выполнена на основе хорошо апробированного подхода, развитого ранее научным консультантом соискателя. В целом, полученные результаты хорошо согласуются с физическими представлениями о характере релаксационных процессов в рассмотренных однородных и неоднородных материалах.

Научная и практическая значимость диссертационной работы высока. Н. С. Селютиной удалось в рамках механики деформируемого твердого тела разработать новые континуальные модели разрушения и пластической деформации различных материалов с явным учетом протекающих в них релаксационных процессов. Оказалось, что при использовании этого подхода можно, не вникая в физические механизмы этих процессов, вполне адекватно описывать деформационное поведение исследованных материалов, объясняя некоторые его особенности и предсказывая его изменение с ростом скорости деформации. Представляется, что развитый Н. С. Селютиной подход имеет большие перспективы дальнейшего развития как в части уточнения его фундаментальных основ, так и с точки зрения его практического использования для прогнозирования деформационного поведения различных материалов в составе всевозможных строений, конструкций и деталей.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы.

Во введении обосновываются актуальность темы исследования, новизна полученных результатов, их достоверность, научная и практическая значимость, а также формулируются основные научные положения, выносимые на защиту. Здесь же приводится краткий обзор литературы по тематике работы, даются краткое изложение диссертации по главам, основные научные положения, список публикаций автора по теме диссертации и сведения о ее апробации.

В первой главе диссертации излагаются результаты исследования зависимости динамической прочности различных горных пород и бетонов от скорости деформации. Показано, что введение в критерий разрушения инкубационного времени, которое характеризует длительность процесса образования и развития микротрещин, предшествующего макроскопическому разрушению образцов, позволяет хорошо описывать известные из литературы экспериментальные зависимости, экстраполировать их на более высокие скорости деформации, и объяснять зависимость динамической прочности материалов от особенностей их состава и структуры.

Во второй главе описаны результаты применения концепции инкубационного времени текучести для описания предела текучести различных сталей, алюминиевых сплавов и нанокристаллического никеля в широком диапазоне скоростей деформации. Сравнение этого подхода с другими известными динамическими моделями пластичности привело автора к заключению, что релаксационная модель пластичности, базирующаяся на понятии инкубационного времени, значительно более удобна и эффективна в более широком диапазоне скоростей деформации.

Во третьей главе показано, что разработанная автором релаксационная модель пластичности может описывать не только монотонные деформационные кривые, но и зависимости «напряжение-деформация» с зубом текучести, которые появляются при повышенных скоростях деформации.

В четвертой главе предлагается релаксационная модель пластичности, нацеленная на описание циклической деформации. В частности, особое внимание уделяется изучению

эффекта стабилизации пластической деформации в испытаниях на малоцикловую усталость сталей разных марок.

Пятая глава диссертации посвящена исследованию деформационного поведения и разрушения композитных материалов на основе металлополимерных ламинатов. Здесь разработанная для однородных материалов релаксационная модель пластичности обобщается на случай подобного композита и верифицируется на примере различных ламинатов, в которых в качестве металлической составляющей берутся слои алюминия или титана, а в качестве полимерной составляющей с волокнистым наполнителем – слои эпоксидной смолы со стеклянными, углеродными или кевларовыми волокнами. Анализируя квазистатические и динамические деформационные кривые таких композитов, автор демонстрирует возможность теоретического описания многостадийности их деформации, возникающей в результате последовательного расслоения и разрушения полимерных слоев с волокнистым наполнителем.

Замечания и вопросы по работе

1. Текст диссертации написан довольно небрежно. Такое впечатление, что он писался в большой спешке и не был должным образом проверен и отредактирован. В частности, имеются повторы целых фрагментов текста. Так, совпадают второй абзац на стр. 11 и третий абзац на стр. 16, начиная со слов «При высокоскоростном и температурном деформировании...». Встречаются повторы предложений: «Чем больше время инкубации, тем выше динамическая прочность железобетона. Чем больше инкубационный период, тем выше динамическая прочность железобетона» (стр. 88); «При фиксированном наборе инвариантных параметров истории нагружения (E , α , τ , β) можно прогнозировать деформацию материала при различных видах нагружения, задаваемую функцией $\Sigma(t)$ в Ур. (19) и (35). При фиксированном наборе инвариантных параметров истории нагружения (E , α , τ , β) можно прогнозировать деформацию материала при различных видах нагружения, задаваемую функцией $\Sigma(t)$ в Ур. (19) и (35)» (стр. 184). Совпадают формулы (54) и (55) на стр. 173.
2. Часто встречаются пропуски слов, их несогласованность по окончаниям и просто неправильный порядок слов в предложениях, а также ошибки в пунктуации. Иногда это приводит к полному изменению смысла сказанного. Например, на стр. 78 (второй абзац) сказано, что «армирование бетона стальными или углеродными стержнями может снизить чувствительность скорости к динамической прочности». Видимо, это следует понимать ровно наоборот, что такое армирование может снизить чувствительность динамической прочности к скорости нагружения. Как правило, из контекста можно догадаться, что хотел сказать автор, но чтение такого текста требует больших затрат времени и большого терпения.
3. Автор часто использует лишние слова словосочетания и термины, например: «амплитуда импульса рельсовой стали» (стр. 55), «агрегатный размер бетона 9 мм» (стр. 58), «сдерживающие сжимающие напряжения» (стр. 60), «зависимости сжимающей прочности известняков от скорости деформации под влиянием воды» (в подписи к рис. 14 на стр. 74; аналогичные словосочетания в подписях к рис. 15 и 16), «крючковатое торцевое стальное волокно» (подпись к рис. 24 на стр. 87), «о снижении динамической прочности армированного крюкового конца бетона» (стр. 88),

«фибробетон с загнутым концом» (стр. 88), «спиральный фибробетон» (стр. 88), «скорость вязкости разрушения» (стр. 94), «стальной и синтетический фибробетон» (стр. 102), «сравнивать скорость чувствительности материалов и прогнозировать влияние конкуренции прочности» (стр. 103), «пластическая скорость деформации» (стр. 121), «структурно-временной подход текучести» (стр. 108, 132), «широкий спектр напряженно-деформированных отношений» (стр. 140), «ползучесть растворенного вещества» (стр. 166), «модуль Юнга металловолокон» и «степень упрочнения металловолокна» (стр. 192) в разделе 5.1, где речь идет о композитах в виде чередующихся слоев металла и полимера с наполнителем в виде стеклянных, углеродных и кевларовых волокон, но никаких металлических волокон нет.

4. По всему тексту автор явно злоупотребляет использованием функции Хевисайда в виде $H(t)$, поскольку время t здесь всегда положительно, так что она всегда равна единице.
5. Иногда упомянутые в тексте имена авторов не соответствуют приводимым ссылкам на литературные источники, например, на стр. 144 – «модель Хана-Хуан-Ляна [14]», «модель Русинька-Клепачко [163]», на стр. 148 – «модель Khan-Huang-Liang [14]».
6. Имеются разночтения в тексте и в данных, приводимых на рисунках и в таблицах. Так, обозначения линий в подписи к рис. 9 на стр. 66 не соответствуют рисунку. При обсуждении рис. 29 и в подписи к этому рисунку (стр. 94–96) говорится о наименьшей длине трещины $l_n = 5$ мм, а на рис. 29 указаны данные для наименьшей длины трещины $l_n = 4$ мм. На стр. 98 говорится о «хорошем качественном соответствии между теоретическими зависимостями и экспериментальными данными [124]» на рис. 31, однако наклоны расчетных кривых очевидно существенно больше, чем наклоны экспериментальных зависимостей, причем на некоторых участках экспериментальные значения расходятся с расчетными в разы (см. рис. 31, в, г). Аналогичные расхождения между теоретическими и экспериментальными кривыми видны на рис. 32 и 33. На рис. 48 (б, в) на стр. 135 перепутаны обозначения кривых. На рис. 50(а) и 50(б) приведены одни и те же графики, но разные надписи. Ни в тексте, ни в подписи к рис. 70 не указано, каким случаям соответствуют показанные на нем красная и черная кривые. Во втором абзаце на стр. 68 сказано, что «увеличение отношения воды к цементу в насыщенном бетоне обеспечивает более высокое гидростатическое давление, как отмечено ранее, что способствует увеличению характерного времени релаксации (инкубационному времени разрушения) бетона», а в табл. 5 на стр. 69 наоборот, увеличение этого отношения от 0.3 до 0.7 соответствует уменьшению этого времени от 0.79 с до 0.365 с.
7. Почему автор полагает, что «Инкубационное время является ... параметром, не зависящим от геометрии и способа нагрузки образца» (стр. 80, строки 8–10 снизу)? Как это согласуется с идущим следом предложением: «Изменение этого параметра качественно связано с релаксационными процессами, проявляющимися как увеличения количества и размеров микродефектов в структуре материала»? Разве количество и размеры микродефектов не зависят от геометрии образца и способа его нагружения? Мне кажется, что это очевидно не так, иначе не нужны были бы стандарты на образцы и на способы их испытания.

8. Почему, когда меняется на порядки скорость нагружения, подгоночные параметры релаксационных моделей не меняются, а когда немного меняется температура испытания, эти параметры меняются, поскольку считается, что испытываются уже разные материалы (см. стр. 165)? Как это соотносится с «принципом температурно-временного соответствия» (там же)?
9. Чем отличаются друг от друга образцы чистого Al, для которых построены черная и красная кривые на рис. 36? Аналогичный вопрос – об образцах сплава Al 6061 T6, для которых построены черная и красная кривые на рис. 37.
10. На рис. 66 на стр. 170 приведены деформационные кривые, демонстрирующие «разнообразие откликов материалов, обеспечиваемое релаксационной моделью пластичности». Чем принципиально отличаются эти «отклики» на рисунках (а) и (ж), (б) и (в), (г) и (з), (е) и (и)? На первый взгляд, никаких качественных отличий между ними нет.

Сделанные замечания касаются в основном стилистики изложения результатов работы и ее небрежного оформления. Они никак не касаются основных результатов работы и не снижают ее общей высокой оценки. Считаю, что Н. С. Сергеева выполнила большую и очень полезную работу, которая имеет широкие перспективы дальнейшего развития и практического использования.

Диссертация Селютиной Нины Сергеевны на тему: «Динамическая деформация и разрушение материалов на основе релаксационных моделей необратимого деформирования» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Селютина Нина Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной 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,
главный научный сотрудник, зав. лабораторией
механики наноматериалов и теории дефектов
Института проблем машиноведения РАН

Гуткин Михаил Юрьевич

07.11.2023

