

ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета Волкова Александра Евгеньевича на диссертацию Чжао Шисяна на тему «Моделирование динамической пластичности металлических материалов под воздействием ударных нагрузок: эффект скорости воздействия и термическое разупрочнение», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью создания с одной стороны физически обоснованных, а, с другой стороны, эффективных методов описания процессов деформации материалов при быстрых высокоэнергетических режимах деформирования. Разработка в рамках диссертации релаксационной модели и инкрементной релаксационной модели пластической деформации имеет большое

фундаментально-научное значение, поскольку она распространяет концепцию инкубационного времени (задержанного развития физического процесса) на пластичность и, тем самым, открывает новые пути описания с единых позиций процесса пластической деформации материалов в широком диапазоне скоростей деформации: от 0 до 10^4 с⁻¹.

Практическое значение диссертационной работы объясняется возможностью расчета и предсказания пластического поведения материалов в условиях динамических воздействий, что необходимо для разработки технических приложений в аэрокосмической, строительной и других отраслях промышленности. Практическая ориентированность диссертации усилена разработкой способов внедрения теоретических зависимостей, описывающих пластическое поведение материалов, в конечно-элементные пакеты программ.

Достоверность результатов обусловлена использованием апробированных в механике деформируемого твердого тела концепций и подходов, соответствием результатов расчетов с данными экспериментов и сравнением с результатами расчетов, полученных в рамках ряда моделей, разработанных другими исследователями.

Апробация. Результаты, представленные в диссертации, доложены на семинарах кафедры Теории упругости Санкт-Петербургского государственного университета и на ряде российских и международных конференций. Они опубликованы в ведущих российских и зарубежных научных журналах.

Главное достижение диссертации – создание релаксационной модели пластичности, основанной на использовании концепции инкубационного времени развития различных физических процессов. Подробно рассмотрены различные варианты релаксационных моделей пластичности, их особенности, а также общие черты и различия с другими моделями, нацеленными на описание зависимости напряжения от скорости деформации. Большое внимание в работе уделено важному вопросу подбора значений материальных постоянных – инкубационного времени и показателя, входящего в формулу для динамической интенсивности напряжений. Автор показал, что разработанные в рамках

диссертации модели позволяют естественным образом описать и в какой-то мере объяснить связь скоростной зависимости напряжения течения с временными характеристиками развития процесса деформации (инкубационным временем), объяснить происхождение температурно-временного соответствия.

Для исследования температурно-временного соответствия автором введено понятие коэффициента относительных напряжений, с помощью которого удастся более наглядно показать различия в описании диаграмм деформирования при различных температурах и скоростях деформации, полученном в рамках концепции ряда моделей, созданных как в рамках данной диссертации, так и другими авторами.

В результате исследования описательных и предсказательных возможностей разработанных релаксационных моделей пластичности показано, что только из всех рассмотренных подходов только данные модели могут описать диаграммы деформации в широком диапазоне скоростей, описать немонотонное изменение деформирующего напряжения, в частности отрицательные значения коэффициента упрочнения.

Одним из результатов диссертации является создание модели пластического деформирования, основанной на использовании нейронной сети и машинного обучения. Диссертант показал, что данный подход позволяет во многих случаях получить адекватное описание процессов деформации с разными скоростями и при разных температурах, хотя и требует большое количество экспериментальных данных для обучения нейросети.

К достижениям диссертанта следует отнести построение зависимости инкубационного времени от температуры, выполненного на примерах стали HSLA-65, композита на основе вольфрама 93W-4.9Ni-2.1Fe и титанового сплава Ti-6Al-4V, а также апробации (хотя и на простейшей с точки зрения геометрической формы образца задачи) внедрения релаксационной теории пластичности в программный конечно-элементный пакет ABAQUS.

Замечания.

1. На с.28 приведена формула (1.8) разбиения напряжения на атермическую и термическую составляющие. При этом недостаточно объяснен смысл такого разбиения, поскольку понятие "атермический" и "термофлуктуационный" относятся к механизмам движения дислокаций. Поэтому такое разбиение скорее применимо к скоростям деформации, чем к напряжениям.
2. При обсуждении достоинств модели, основанной на построенной нейронной сети (ИНС) диссертант пишет: "Новые нетипичные физические явления часто требуют введения дополнительных членов в существующую модель, в то время как для модели ИНС такие изменения не требуются". При этом не отмечен тот факт, что в случае реализации таких явлений ИНС просто даст неверное описание процесса, о котором автор расчета может даже не заподозрить.
3. Описание модели нейронной сети на с.31-34 недостаточно подробное.
4. На с.25 формула (1.5) описана недостаточно ясно.
5. При описании модифицированной релаксационной модели пластичности на с. 39-41 не указано явно, как найти момент времени t_y .

6. На с.44 при введении коэффициента m , по-видимому, допущена опечатка: написано, что $m = t_y / h$ вместо t_y / τ .
7. На с.48 не указано, что понимается под термином "истинная деформация", которая отложена по оси абсцисс на рис.2.3.
8. На с.25 в формуле для скорости пластической деформации допущена опечатка: указано, что она справедлива $\forall \sigma : f(\sigma; \mathbf{q}) \leq 0$. Должно быть $\forall \sigma : f(\sigma; \mathbf{q}) = 0$
9. На с.26 величина $(3/2\mathbf{s}:\mathbf{s})^{1/2}$ классифицирована как интенсивность касательных напряжений, тогда как это – интенсивность напряжений.
10. На с.52 имеется неудачное выражение: "Следует отметить, что значения левых и правых концов кривых при высоких скоростях деформации больше начальных температур 77 К и 700 К, при которых были протестированы образцы. "

Сделанные замечания относятся, в основном, к стилю изложения и оформлению, либо носят характер обсуждения. Они не изменяют общего положительного заключения по диссертации.

Диссертация Чжао Шисяна на тему: «Моделирование динамической пластичности металлических материалов под воздействием ударных нагрузок: эффект скорости воздействия и термическое разупрочнение» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Чжао Шисян заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Председатель диссертационного совета
доктор физико-математических наук, без ученого звания,
профессор кафедры Теории упругости СПбГУ



Волков А.Е.

30.05.2023