

0.1. Ключанцев В.С. Нелокальное моделирование процессов накопления повреждений в режиме смешанного нагружения I/II

Исследование посвящено применению нелокального подхода интегрального типа к моделированию процессов накопления повреждений в металлических материалах. Предполагается, что материал повреждается в режиме пластических деформаций под действием смешанного нагружения при комбинации растягивающих и сдвиговых напряжений. Так как в пластичных металлах в окрестности вершины трещины могут наблюдаться конечные деформации, разрабатываемая модель геометрически нелинейна. Введение нелокальности интегрального типа в правило накопления повреждений обогащает структуру модели путем добавления новых параметров материала и регуляризует численные расчеты [1]. Известно, что расчеты по локальным моделям обладают существенным недостатком, а именно, результаты моделирования патологически зависят от параметров дискретизации. В частности, при измельчении сетки отсутствует сходимость решения к физически осмысленному, а ориентация сетки задает направление распространения трещин. В то же время результаты моделирования по нелокальным моделям лишены указанных недостатков и позволяют получить сходящееся решение при измельчении дискретизации [1–3].

Для достижения точного описания процессов накопления повреждений и разрушения при смешанном режиме нагружения I/II типов предложены новые ядра делокализации. Разработанные ядра явно учитывают неоднородность полей напряжений и деформаций в зоне разрушения. Кроме того, исследуются процедуры нормализации ядер на основе баланса величин в приемнике и источнике. При этом процедура нормализации на основе приемника является математически строгой, обеспечивающей инвариантность постоянных полей; процедура на основе источника является физически обоснованной, обеспечивающей постоянство интеграла от делокализуемой величины.

Результатом исследования является инструмент моделирования, подходящий для сквозного расчета процессов накопления повреждений и разрушения. С использованием модели материала, откалиброванной по реальным экспериментальным данным для сплава EN AW5754 H111 [Silva], продемонстрирована практическая применимость нового подхода. В частности, показана работоспособность модели для конечно-элементного анализа разрушения компактных образцов в смешанном режиме “растяжение-сдвиг”. В отличие от обычных ядер делокализации, представленные семейства ядер предлагают дополнительный параметр калибровки, который позволяет более точно описать поведение

конструкции при смешанном режиме нагружения. В частности, предложенный подход позволяет корректно описать форму диаграммы K_{Ic} - K_{IIc} .

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 23-19-00514).

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Шутов А. В.

Список литературы

- [1] BAŽANT Z. P. AND JIRASEK M. Nonlocal integral formulations of plasticity and damage: survey of progress // Journal of Engineering Mechanics. 2002. Vol. 128. P. 1119–1149 .
- [2] SHUTOV A. V., KLYUCHANTSEV V. S. Large strain integral-based nonlocal simulation of ductile damage with application to mode-I fracture // International Journal of Plasticity. 2021. Vol. 144. P. 103061.
- [3] SHUTOV A. V., KLYUCHANTSEV V. S. Integral-based averaging with spatial symmetries for non-local damage modelling // ZAMM?Journal of Applied Mathematics and Mechanics // Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik. 2023. Vol. 103(1). С. e202100434.
- [4] SILVA C. M. A., SILVA M. B., ALVES L. M., MARTINS P. A. F. A new test for determining the mechanical and fracture behavior of materials in sheet-bulk metal forming. // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications. 2017. Vol. 231(8). P. 693-703.