

**0.1. Ключанцев В.С., Шутов А.В. Генерация (грант № 23-19-00514).  
синтетической базы данных по разруше-  
нию сварных стальных образцов для от-  
работки методик калибровки моделей**

В работе рассматривается задача *генерации синтетической базы данных по разрушению сварных стальных образцов* для отработки и сравнения методик калибровки конститутивных моделей с нелокальным накоплением повреждений. Синтетическая БД формируется на основе вычислительных экспериментов, в которых сочетаются сеточные методы (МКЭ) и бессеточные (МСЧ) [1]. При умеренных конечных деформациях предпочтителен МКЭ, но при больших деформациях точность и устойчивость повышает МСЧ. Гибридизация позволяет надёжно описывать шейкообразование, отделение частей конструкции и зарождение трещин при разрушении сварных соединений.

Предложена вычислительная схема, в которой объём расчётной области динамически перераспределяется между конечными элементами и частицами МСЧ. Для снижения стоимости вычислений применяется смешанный алгоритм ассемблирования внутренних сил, вклад в силу дают только активные элементы дискретизации. На этой основе выполняется *массовое* моделирование серий плоских образцов с лазерной сваркой: без надрезов и с надрезами, при разных углах наклона шва к оси растяжения и при двух уровнях температуры.

Модели повреждаемости реализованы в *нелокальном интегральном* формате [2,3], что устраняет патологическую зависимость результатов от шага дискретизации и обеспечивает корректную ширину зоны локализации. Делокализация уравнений эволюции выполняется через интегральное сглаживание по ядру с внутренней длиной, применимому в металле шва и основном металле.

Для калибровки предлагается многоступенчатый протокол: на первом шаге восстанавливаются упругие модули по начальному наклону, далее параметры текучести и упрочнения по докритическим участкам, и, наконец, параметры повреждаемости и нелокальная длина - по пикам нагрузки и нисходящим ветвям [4]. Синтетические серии варьируют угол шва и глубину/радиус надреза, что делает процедуру идентификации наблюдаемой и сдерживает пере-параметризацию.

Представлен пример лучшего варианта калибровки и атлас трещинообразования, который критичен для отбраковки ложных сценариев разрушения. Полученная синтетическая БД совместима с последующей валидацией на реальных испытаниях, а гибридная МКЭ/МСЧ-постановка может использоваться как генератор для быстрой оценки чувствительности моделей к ориентации шва и различным концентраторам напряжений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ*

**Список литературы**

- [1] MONAGHAN J. J. Smoothed particle hydrodynamics // In: Annual review of astronomy and astrophysics. 1992. Vol. 30. P. 543-574.  
Shutov A., Klyuchantsev V. On the application of SPH to solid mechanics // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2019. Vol. 1268. P. 012077.
- [2] BAŽANT Z. P. AND JIRÁSEK M. Nonlocal integral formulations of plasticity and damage: survey of progress // Journal of Engineering Mechanics. 2002. Vol. 128. P. 1119–1149 .
- [3] 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.
- [4] LARICHKIN A. Y. ET AL. Fracture of welded steel samples at normal and low temperatures: Experimental dataset and nonlocal modeling // Materials Science and Engineering. 2025. P. 148447.