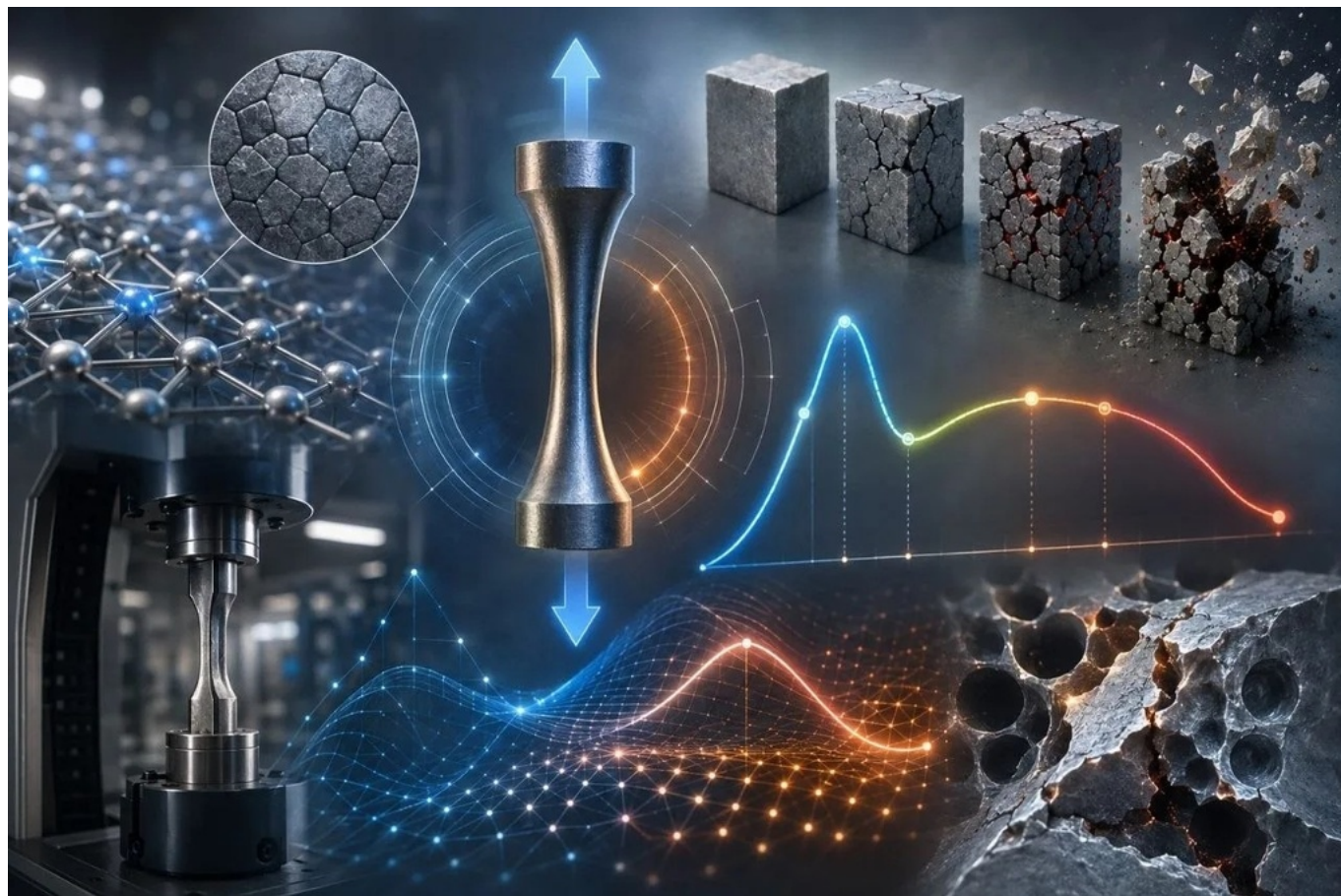


В ИПМаш РАН предложили новый метод прогнозирования деформации и разрушения материалов

04.08.2026



Младший научный сотрудник Лаборатории динамики экстремальных состояний и структурных переходов Института проблем машиноведения РАН **Мария Антонова** участвует в серии исследований, посвящённых моделированию механического поведения материалов при различных условиях нагружения. Результаты опубликованы в журналах *Acta Mechanica*, *International Journal of Impact Engineering* и *Mechanics of Solids*. Эти работы объединяет общий структурно-временной подход: в одних исследованиях он используется для описания пластического течения и его особенностей, а в других дополняется критерием, позволяющим рассматривать переход материала к разрушению после развитой пластической деформации.

Одна из ключевых задач моделирования состоит не только в том, чтобы воспроизводить уже полученные диаграммы деформирования, но и прогнозировать поведение материала при изменении условий нагружения. Для этого необходимо получить единое описание всего процесса: начала и развития пластического течения в материале с учётом влияния скорости деформации и температуры, и последующего перехода к разрушению после развитой пластической деформации. Для решения этой задачи в ИПМаш РАН применяется структурно-временной подход, развиваемый в рамках научной школы «Механика экстремальных состояний» под руководством академика **Ю.В. Петрова**.

В его основе лежит идея о том, что переход материала к пластическому течению или разрушению не происходит мгновенно. Ему предшествуют процессы, развивающиеся внутри материала в течение некоторого времени: движение и взаимодействие дефектов, перестройка внутренней структуры, накопление повреждений, изменения состояния зерен и их границ. Поэтому в модели вводятся временные характеристики, отражающие длительность этих процессов. Они рассматриваются как свойства материала наряду с традиционными характеристиками прочности.

Главное преимущество такого подхода состоит в том, что параметры модели не нужно заново подбирать при каждом изменении скорости деформации или температуры. Они определяются структурным состоянием материала, а внешние условия нагружения учитываются отдельно. Благодаря этому модель может использоваться для прогнозирования поведения материала при новых режимах нагружения. Если же меняется сама структура материала, например, размер зерна, параметры модели также изменяются, тогда необходимо установить их связь с характеристиками микроструктуры.

Первое направление исследований связано с развитием модифицированной релаксационной модели пластичности. Она позволяет описывать диаграмму деформирования материала, включая ее немонотонные особенности. Один из таких эффектов — «зуб текучести»: резкий пик напряжения в начале пластической деформации, после которого сопротивление материала кратковременно снижается. Этот эффект сложно описать в рамках существующих феноменологических моделей. В работе, опубликованной в *Acta Mechanica*, исследователям удалось связать параметры модели, отвечающие за зуб текучести, с размером зерна материала. Это открывает возможность прогнозировать влияние микроструктуры на особенности пластического течения.

В другой работе, опубликованной в *International Journal of Impact Engineering*, модель была расширена для учета влияния скорости деформации и температуры, в том числе при динамических и ударных нагрузках. Если в исследовании *Acta Mechanica* основной акцент был сделан на связи параметров модели с микроструктурой, то здесь внимание сосредоточено на описании механического отклика материала в широком диапазоне условий нагружения.

Построение теоретической модели тесно связано с экспериментальными исследованиями. Для проверки расчетов коллектив лаборатории «Динамика экстремальных состояний и структурных переходов» ИПМаш РАН совместно с исследователями мегалаборатории «Динамика и экстремальные характеристики перспективных наноструктурированных материалов» СПбГУ разрабатывает методики испытаний при высоких скоростях деформации и в условиях, близких к реальным динамическим воздействиям.

Второе направление исследований, результаты которого опубликованы в *Mechanics of Solids*, посвящено описанию разрушения материала после развитой пластической деформации. В отличие от традиционных критериев, основанных на достижении предельного напряжения, деформации или накопленного повреждения, ученые используют энергетический подход. Он учитывает не только текущее состояние материала, но и всю энергию, накопленную в процессе деформирования. Благодаря этому разрушение рассматривается как итог всей предшествующей истории пластической деформации, что позволяет точнее описывать поведение материалов при сложных режимах нагружения.

Для тестирования различных этапов развиваемого подхода исследователи используют магниевые сплавы. Благодаря малой плотности эти сплавы очень перспективны для транспортной, авиационно-космической техники и ряда биомедицинских применений. При этом механические свойства магниевых сплавов сильно зависят от состава, размера зерна и

скорости нагружения, что делает их удобным объектом для проверки моделей, учитывающих связь между структурой материала и его механическим откликом.

*«Мы стремимся получить единое описание поведения материала — от начала пластического течения до разрушения. Важно, чтобы модель не просто воспроизводила уже полученную экспериментальную кривую, а сохраняла возможность прогнозировать поведение материала при изменении скорости деформации или температуры. Поэтому отдельное внимание уделяется связи параметров модели со структурными характеристиками материала. В перспективе это позволит выбирать структуру и состав материалов под конкретные условия эксплуатации», — пояснила **Мария Антонова**.*

Материал: Пресс-служба Института проблем машиноведения РАН