

## СЕКЦИЯ II МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

---

### ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛОВ

Д. В. Пермяков

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Ю. В. Мартянов

*Выполнен обзор особенностей численного моделирования пластической деформации металлов. Дано описание процессов деформации и мест в моделях, на которые следует обратить пристальное внимание инженеру.*

**Ключевые слова:** моделирование, металл, дефекты, напряжения.

Моделирование процессов деформации металлов – это сложная задача, требующая учета множества факторов, связанных с изменением структуры материала на разных масштабах. Опишем ключевые особенности этого процесса.

При пластической деформации в металлах происходит накопление и движение дефектов, дислокаций. Эти процессы сопровождаются изменением внутренней структуры материала как в объеме, так и на поверхности. Моделирование должно учитывать появление и развитие таких дефектов, поскольку именно они определяют поведение металла под нагрузкой и в процессе пластической деформации.

Современные методы моделирования используют подходы нелинейной динамики и фрактального анализа. Поверхностные и объемные дефекты при деформации образуют самоподобные структуры – фракталы. Анализ фрактальных характеристик позволяет выявлять критические стадии деформации и прогнозировать разрушение материала.

В процессе деформации внутренние (объемные) и внешние (поверхностные) изменения в металле происходят согласованно до определенного момента. Математический разрыв этой корреляции служит индикатором перехода материала в критическую стадию, предшествующую разрушению. Это позволяет использовать поверхность металла как для оценки его состояния [1].

Важной особенностью является локализация деформации – появление зон, где материал деформируется интенсивнее всего. Моделирование позволяет выявлять такие зоны и прогнозировать их развитие, чтобы избежать аварийных ситуаций.

Внутри материала существуют энергетические барьеры, удерживающие изломы (дефекты структуры). Их смещение может кардинально изменить механические свойства материала, делая одни зоны мягкими, а другие – жесткими. Управление этими процессами – одна из задач моделирования.

Главная цель моделирования – прогнозировать интервалы устойчивой работы металлических конструкций и выявлять предвестники разрушения на ранних стадиях, когда традиционные методы контроля еще не эффективны.

Пример деформации металла под нагрузкой представлен на рис. 1.

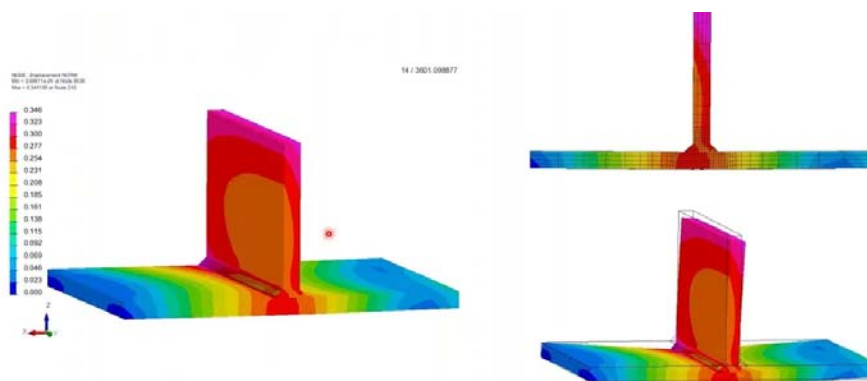


Рис. 1. Деформация металла под нагрузкой

Моделирование процессов деформации металлов представляет собой многоуровневую задачу, требующую учета как макроскопических, так и микроскопических изменений в структуре материала. Ключевой особенностью является необходимость отслеживать эволюцию дефектов кристаллической решетки, поскольку именно они определяют характер и степень деформации. Современные методы моделирования опираются на анализ фрактальных и самоподобных структур, возникающих на поверхности и в объеме металла, что позволяет выявлять критические стадии деформации и прогнозировать разрушение с высокой точностью. Кроме того, моделирование должно учитывать локализацию деформации и влияние внутренних изломов, которые могут изменять механические свойства материала. Комплексный подход к моделированию, сочетающий анализ микроструктуры, фрактальных характеристик и прогнозирование критических состояний, позволяет не только повысить надежность и долговечность металлических конструкций, но и обеспечить их безопасную эксплуатацию в различных отраслях промышленности.

Пример модели сложной деформации свивкой представлен на рис. 2 [2].

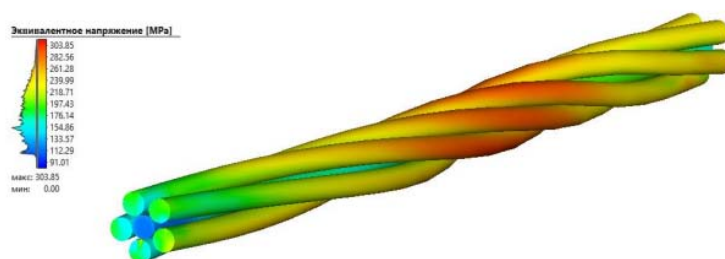


Рис. 2. Пример модели сложной деформации свивкой

Цветокodированное изображение показывает картину величин и распределений эквивалентных напряжений, называемых напряжениями по Мизесу. Анализ напряженного состояния металла при деформации позволяет оптимизировать технологические процессы производства изделий из металлов, а также спроектировать новую или модернизировать существующую оснастку для достижения определенного воздействия на металл при его деформации.

Таким образом, численное моделирование процессов пластического деформирования является актуальным направлением развития промышленного производства изделий из металлов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Губкин, С. И. Теория обработки металлов давлением : учебник / С. И. Губкин. – М. : Металлургиздат, 1947. – 532 с.
2. Мартьянов, Ю. В. Моделирование процессов сложной деформации металлов / Ю. В. Мартьянов, Ю. Л. Бобарикин // IV Республиканский форум молодых ученых учреждений высшего образования с международным участием : сб. материалов форума, Гомель, 18–20 мая 2025 г. / Гомел. гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель, 2025. – С. 40–41.

### ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Н. Н. Мельников**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Ю. В. Мартьянов

*Отражено современное состояние, прикладные возможности и перспективные направления применения численного моделирования в металлургии и машиностроении.*

**Ключевые слова:** метод конечных элементов, моделирование, выявление дефектов металла.

Подготовка технологии производства является важным этапом в процессе разработки новой продукции. Помимо проектирования детали согласно требованиям и стандартам инженеры должны убедиться, что деталь может быть изготовлена с заданной точностью с использованием существующего оборудования. Недостаточно спроектировать деталь и просчитать ее работоспособность в процессе жизненного цикла. Следует удостовериться, что эта деталь может быть с заданной точностью создана на существующем оборудовании – например, учесть эффекты обратного пружинения, остаточных деформаций, коробления детали. Требуется правильно спроектировать оснастку: матрицы, пуансоны, крепежный инструмент – и подобрать оптимальные режимы его работы, разработать техническую документацию на процессы.

Изучение изменений различных технологических процессов на реальных устройствах имеет множество недостатков (например, невозможность масштабного изменения параметров устройства, возможность ошибок устройства при отладке и т. д.). В связи с этим оптимизация существующих производственных процессов и внедрение в производство новой продукции требует значительных вложений времени, материалов.

В настоящее время существует множество методов имитационного моделирования. Из них метод конечных элементов (МКЭ) является наиболее популярным методом моделирования и решения инженерных задач. В математическом плане метод относится к группе вариационно-разностных. Строгое доказательство таких важных свойств как устойчивость, сходимости и точности метода осуществляется в соответствующих разделах математики и часто является сложной задачей.