

## **МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ**

**Щукин В.Я.<sup>1</sup>, Кожевникова Г.В.<sup>2</sup>, Абрамов А.А.<sup>2</sup>, Климов К.А.<sup>2</sup>**

1) Белорусский национальный технический университет

2) Физико-технический институт НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

Изучение параметров микроструктуры материала при пластических деформациях в процессах обработки металлов давлением (ОМД) являются одним из перспективных направлений в области компьютерного моделирования. Моделирование процессов формообразования в металле, невозможно без перехода на микроуровень, так как именно параметры микроструктуры являются наиболее емкими при определении качественных характеристик изделий [1]. Свойства материала неразрывно связаны с его микроструктурным состоянием, на ход пластических деформация может существенно оказать влияние исходная неравномерность распределения микроструктурных компонентов.

Существуют несколько подходов компьютерного моделирования микроструктуры металла при ОМД. Один из них заключается в том, что вначале проводятся компьютерное моделирование формообразования заготовки на макроуровне, определяются ее характеристики (напряжение, деформация, скорость деформирования, температура и т.д.), а далее используя известные модели поведения металла на микроуровне определяются параметры формирования микроструктуры.

Для совместного решения задач моделирования пластической деформации и эволюции микроструктуры требуются т.н. интегральные математические модели различных взаимосвязанных процессов структурообразования. Одной из таких моделей, которая используется в пакетах инженерного анализа является модель ЖМАК (модель Джонсона-Мейла-Аврами-Колмогорова). В ее основе лежит математическая модель, которая связывает основные структурные характеристики (размер зерна и рекристаллизация) с макроскопическими характеристиками изделия на уровне физико-механических свойств.

Компьютерное моделирование процессов ОМД основано на методе конечных элементов и связано с решением дифференциальных уравнений, используя специальные программные пакеты. Современные системы анализа позволяют точно предсказывать процесс течения металла при формообразовании заготовки, ее напряженно-деформированное состояние, а также оценить микроструктуру заготовки. Однако качество результатов и их адекватность зависит от подходов моделирования, параметров, которые задавались при построении моделей и т.д. Поэтому очень важно правильно подготовить расчетные данные для пакета инженерного анализа.

Для этого была разработана методика построения компьютерных моделей, проведения численного анализа процессов обработки металлов давлением и прогнозирования структуры материала в процессах ОМД.

В качестве базового пакета для проведения компьютерного моделирования был выбран пакет DEFORM 3D. Построена компьютерная модель поперечно-клиновой прокатки вала водяного насоса ОАО «Борисовский завод агрегатов» из стали 40X при температуре 1000 °С с параметрами прокатки: степень обжатия  $\delta = 1,71$ ; углы клинового инструмента  $\alpha = 30^\circ$ ,  $\beta = 9^\circ$ ; скорость прокатки (подвижного инструмента) 0,3 м/с. Для каждой точки можно вывести следующие результаты: ориентация зерна, плотность дислокаций, границы зерен (рисунок). Можно отобразить гистограммы для размера зерна, дезориентации зерна и др. параметры микроструктуры в виде графиков в любой момент времени. Для оценки и сравнения результатов виртуальных экспериментов с натурными, использованы металлографические исследования исходных и деформированных образцов.

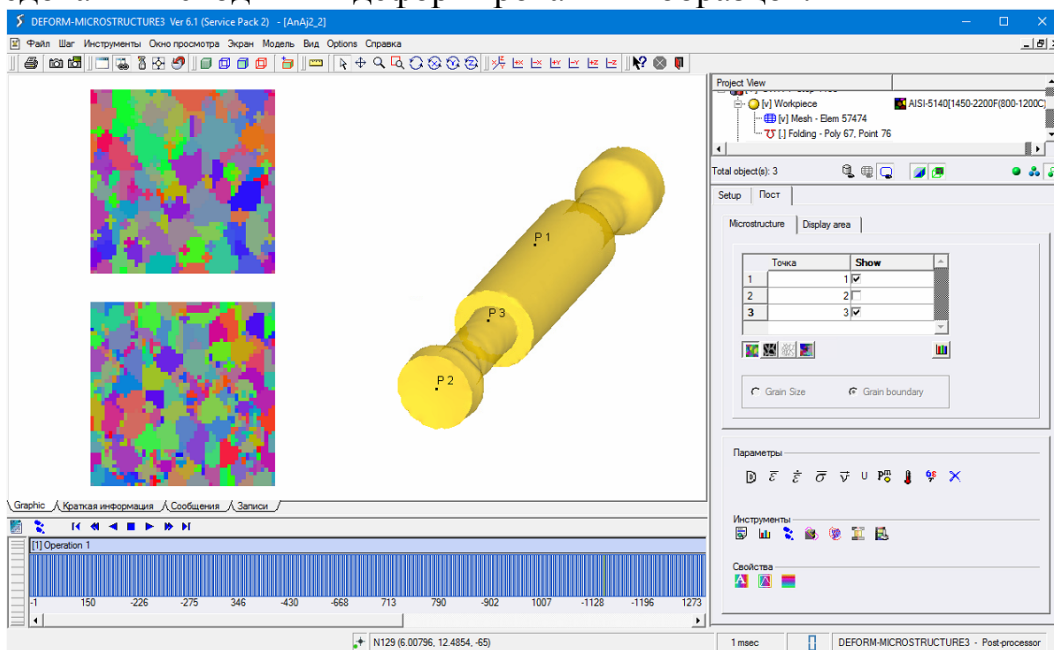


Рисунок – Ориентация зерна для точек 1 и 3

1. Кожевникова, Г.В. Повышение усталостной прочности валов посредством поперечно-клиновой прокатки / Г.В. Кожевникова, А.О. Рудович, В.Я. Щукин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2017. – № 12. – С. 19–31.

2. Абрамов, А.А. Компьютерное моделирование микроструктуры в процессах обработки металлов давлением // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 3. Обработка металлов давлением / редколлегия: А.В. Белый (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2017. – С. 62–68.