

МОДЕЛИРОВАНИЕ ШТАМПОВКИ СРЕДСТВАМИ QForm**Я. И. Левковец***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Ю. В. Мартьянов

Выполнен обзор особенностей численного моделирования в среде QForm. Дано описание процесса штамповки с помощью встроенных инструментов QForm. Даны основные сведения об анализе дефектов при штамповке.

Ключевые слова: моделирование, штамповка, дефекты, напряжения.

В современных условиях производства к процессам обработки металлов давлением предъявляются все более серьезные требования. Основными задачами являются снижение материалоемкости, сокращение цикла подготовки производства и гарантия высокого качества изделий. Традиционный метод, основанный на натурных экспериментах и доводке штампового инструмента, сегодня является экономически нецелесообразным и технически устаревшим.

Цифровые преобразования в отрасли машиностроения определяют необходимость перехода к широкому использованию систем конечно-элементного анализа. Одним из наиболее мощных инструментов в этой области является российский программный комплекс QForm, предназначенный для моделирования процессов прокатки,ковки, объемной и листовой штамповки и т. п.

Целью данной работы является исследование возможностей оптимизации технологических параметров штамповки с использованием инструментов компьютерного моделирования для минимизации дефектов и увеличения ресурса инструмента.

Программный комплекс QForm основан на методе конечных элементов (МКЭ). В основе метода лежат уравнения термомеханически связанной задачи, объединяющие решение уравнений равновесия, условий пластического течения и уравнений теплопроводности [1].

Одной из ключевых особенностей QForm является использование полностью адаптивной гексагональной или тетраэдрической сетки (рис. 1).

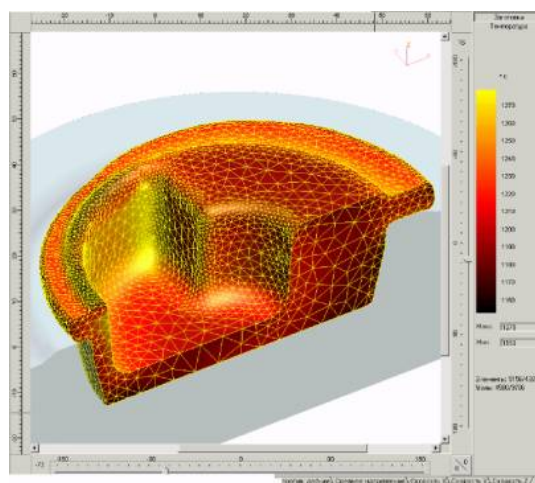


Рис. 1. Пример конечноэлементной сетки при моделировании горячей штамповки

В процессе деформации, когда ячейки подвергаются значительным искажениям, программа в автоматическом режиме производит перестроение сетки (remeshing), что позволяет избежать численной неустойчивости и корректно моделировать сверхбольшие пластические деформации, характерные для объемной штамповки [2].

Процесс моделирования в QForm включает в себя несколько этапов:

- **Геометрическое моделирование:** импорт 3D-моделей заготовки и инструмента (в форматах STEP или IGES). На этом этапе задаются зазоры, радиусы скруглений и штамповочные уклоны.

- **Задание свойств материала:** выбор реологических моделей из встроенной базы данных. Программа учитывает зависимость сопротивления деформации от степени деформации, скорости деформации и температуры.

- **Определение граничных условий:** задаются параметры оборудования (криковошипный пресс, молот, гидравлический пресс), коэффициенты трения по закону Зибеля или Амонтона–Кулона, а также условия теплообмена с окружающей средой и инструментом.

- **Анализ результатов моделирования:** в ходе выполнения имитационного моделирования пользователь получает доступ к исчерпывающей информации о напряженно-деформированном состоянии металла.

Основной фактор штамповки – это заполнение штамповой полости. QForm позволяет визуализировать линии тока металла и выявить зоны вероятного незаполнения профиля или образования зажимов. Обнаружение дефекта «складки» на этапе проектирования позволяет изменить геометрию ручьев или форму исходной заготовки без изготовления реальной оснастки [3].

Важным аспектом является анализ температурных полей. В процессах горячей штамповки температура заготовки изменяется: наблюдается охлаждение при контакте с инструментом, локальный разогрев за счет рассеивания механической энергии в тепловую [4]. Превышение температуры солидуса может привести к пережогу, а чрезмерное охлаждение – к росту усилий деформирования и поломке инструмента. Моделирование позволяет оптимизировать температурно-скоростной режим штамповки и избежать данные дефекты [5].

Программа QForm позволяет оценить распределение нормальных напряжений на поверхности штампа и термическую цикловую нагрузку. Используя критерии износа (например, модель Арчарда), мы можем прогнозировать зоны наиболее интенсивного истирания и корректировать твердость и другие свойства в этих областях.

Использование программного комплекса QForm является современным актуальным инструментом для машиностроительного и металлургического производства в котором обеспечивается сокращение сроков освоения новых изделий в 2–3 раза, снижение себестоимости за счет экономии металла и увеличения ресурса штампов. Обеспечивается контроль качества внутренней структуры металла за счет управления распределением деформаций.

Л и т е р а т у р а

1. QForm 10.1. Руководство пользователя. – URL: https://www.q-principio.com/api/files/c43605/ac73c3/qform_manual_part1.russian.pdf.
2. QForm. Документация программного комплекса. – URL: <https://qform3d.ru/products/documentation/> (дата обращения: 06.04.2026).
3. Бородулинский, И. В. Обработка металлов давлением: моделирование процессов в QForm / И. В. Бородулинский, В. А. Митрохин // Обработка металлов давлением. – 2022. – № 4. – С. 37–42.

4. Современные методы компьютерного моделирования процессов обработки металлов давлением / под ред. проф. А. А. Попова. – Минск : БНТУ, 2020. – 240 с.
5. Дудко, А. А. Моделирование процессов штамповки в среде конечно-элементных программ / А. А. Дудко, А. В. Федоров. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. – 186 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПОСЛЕ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАПЛАВКИ

В. М. Борисевич, С. В. Рогов

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

Представлены результаты разработки самофлюсующихся диффузионно-легированных порошков на основе отходов чугунной дроби для магнитно-электрической наплавки (МЭН) поверхностей деталей машин. Исследовано влияние состава (содержание бора, добавка карбида вольфрама) на микротвердость и износостойкость покрытий. Установлено, что покрытие из порошка с 20 мас. % WC и содержанием бора 9,1 % повышает износостойкость в 5–10 раз относительно закаленной стали 45 и в 2–3 раза относительно стали 95Т. Приведены результаты экспериментов в лаборатории ГГТУ им. П. О. Сухого.

Ключевые слова: магнитно-электрическая наплавка, диффузионное легирование, самофлюсующийся порошок, чугунная дробь, карбид вольфрама, износостойкость, лопасть смесителя.

Большинство деталей машин выходят из строя вследствие износа тонкого рабочего слоя. Для поверхностей, контактирующих с песком, отсевом гранита, полимерными присадками и влагой, характерно интенсивное абразивное и ударно-абразивное изнашивание. Стали 95Т контактируя с абразивом (песок и т. п.) имеют низкий ресурс, а наплавка пластин твердого сплава удорожает изделие и не исключает износа основы между пластинами. Цель работы – разработка рекомендаций по выбору наплавочных материалов для магнитно-электрического наплавки (МЭН) рабочей части поверхности, обеспечивающих высокую износостойкость при минимальной себестоимости.

Методика исследований

Сущность метода МЭН заключается в совокупном воздействии на ферромагнитный порошок (ФМП) и обрабатываемую поверхность электрического тока, внешнего магнитного поля и механического давления. Частицы порошка, ориентируясь вдоль магнитных силовых линий, образуют токопроводящие цепочки, расплавляются под действием разрядов и переносятся на деталь-катод.

Исходный материал – порошок чугуна СЧ20 фракции 200 мкм. Проведено диффузионное легирование по трем режимам:

- порошок № 1: 1 ч при 950 °С;
- порошок № 2: 3 ч при 950 °С;
- порошок № 3: 3 ч при 950 °С + 15 мас. % измельченных отходов карбида вольфрама WC.

Для сравнительных испытаний использовались: ферробор ФБ-17, легированный чугуном СЧЛ, самофлюсующийся никелевый сплав RW 12496 (Castolin Eutectic). Поверхности упрочнялись на лабораторной установке МЭН. Микротвердость измерялась на ПМТ-3 при нагрузке 0,981 Н. Износостойкость оценивалась на машине трения в условиях ударно-абразивного изнашивания; эталон – закаленная сталь 45 (HRC 45–50).