

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ DEFORM ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СКВОЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ

М.М. Скрипаленко<sup>1</sup>, А.А. Сидоров<sup>2</sup>, В.Е. Баженов<sup>1</sup>, М.Н. Скрипаленко<sup>1</sup>, И.А. Иванов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИТУ «МИСИС» г. Москва, Россия, <sup>2</sup>ООО «ТЕСИС», г. Москва, Россия

Большинство современных исследований в области металлургического производства проводятся с помощью САД-САЕ программ. Как правило, при исследовании САД и САЕ программы используются совместно, что позволяет охватывать больший спектр исследуемых задач и применять комплексный подход к их решению. В настоящее время актуальным является разработка и создание моделей полного технологического цикла производства металлопродукции. Данная задача может быть реализована при совместном использовании нескольких программных средств, сферой применения которых являются смежные области металлургического производства.

Целью работы является оценка возможности создания компьютерной модели сквозного технологического процесса производства, а также выбор наиболее эффективных САД-САЕ программ для реализации такой модели. При этом этапы, связанные с ОМД, термической и механической обработкой, а также прочими отделочными операциями предлагается смоделировать с помощью САПР, которые позволят смоделировать формоизменение, спрогнозировать структуру и уровень свойств в соответствии с предъявляемыми требованиями. Этапы, связанные с получением литой заготовки также предлагается смоделировать с помощью соответствующих программных комплексов.

Выбор программ для моделирования процессов литья широк. Для сравнения выбрали программы, представленные на рис.1. Проведенный обзор показал, что наибольшими преимуществами обладает программа ProCAST, позволяющая моделировать непрерывное литьё.

Название	Разработчик	Возможности	Метод решения	Цена, Евро
Magnasoft	Германия	Г Т Н С	МКР	от 65000
WinCast	Германия	Г Т Н С	МКЭ	от 65000
Procast	Франция (ранее США)	Г Т Н С	МКЭ	от 60000
QuikCast	Франция	Г Т С	МКР	н/д
PAM-CAST	Франция	Г Т Н С	МКР	
CalcoSoft	Франция	Г Т С	МКЭ	30000
Flow3D	США	Г Т Н	МКО	
PowerCast	США	Г Т Н О	МКЭ	н/д
SolidCast	США	Г Т О	МКР	28900
LVMFlow	Россия Ижевск	Г Т Н	МКО	29500
Poligon	Россия, г. Санкт-Петербург	Г Т Н	МКЭ	н/д
FlowVision		Г Т	МКО	н/д

\* Г - гидродинамический расчет заполнения расплавом формы; Т - расчет температурных полей при кристаллизации и усадочных дефектов; Н - расчет напряжений в отливке и остаточной деформации; С - моделирование структуры (зеренная структура, распределение феррита и перлита, размер графитных включений и т.п.); О - параметрическая оптимизация литниково-питающей системы в автоматическом режиме.

Рис.1. Программы для моделирования процессов литья

Для проведения сравнения программ, моделирующих процессы ОМД, опираясь на личный опыт, результаты обзора статей в научных журналах, отзывов на форумах выбрали 4 продукта: ANSYS LS-DYNA, DEFORM, Qform, SIMULIA Abaqus. SIMULIA Abaqus является программой, решающей большой спектр задач в металлургии, машиностроении, энергетике и других областях промышленности. Тем не менее, основываясь на собственном опыте и данных, полученных по результатам литературного обзора, можно заметить, что непосредственно для моделирования процессов ОМД в России указанную программу не так часто используют. Данная программа больше подходит для прочностных расчетов, температурных задач. Ряд исследований в области ОМД проводят также с использованием ANSYS, а точнее одного из его модулей. Так, например, в ANSYS-DYNA смоделировали процесс поперечно-винтовой прокатки круглого профиля [1]. Этот процесс является, наверное, самым сложным с точки зрения моделирования. Тем не менее, в сравнении с DEFORM и QFORM в России эту программу для моделирования процессов ОМД применяют реже. SIMULIA Abaqus и ANSYS имеют не самый простой интерфейс, и инженеру по руководству к пользованию самостоятельно трудно научиться работе в них. Среди главных достоинств программы Qform необходимо отметить самую высокую среди других программ скорость решения плоских задач и практическую полезность её применения в учебном процессе. Среди недостатков – не самый удобный графический редактор, не всегда удаётся без трудностей импортировать модели из SolidWorks и др. САД программ. Разработчиками на сайте показаны почти все процессы ОМД, смоделированные в QForm. Однако, среди процессов, смоделированных пользователями этой программы в основномковка и штамповка. Также, если открыть форумы, посвященные современным САПР, то там часто встречается мнение, что набор данных, которые можно представить по результатам расчета в QForm, не так широк, как, например в DEFORM.

Переходя к рассмотрению DEFORM, можно заметить, что среди всех выбранных для сравнения программ она больше других применяется как в России, так и за рубежом. Программа сравнительно проста, многие сами научились в ней работать. Анализируя статьи в научных журналах за последние годы, а также доклады конференции «Инженерные системы», посвященные [DEFORM](#), можно выделить две тенденции: 1) круг решаемых задач постоянно расширяется; 2) решаемые задачи охватывают все больше и больше технологических операций, позволяя моделировать частично или полностью технологические процессы. Если отталкиваться от результатов исследований процессов ОМД, проведенных с помощью DEFORM и доступных в интернете или научных журналах и других источниках, то их перечень, наверное,

самый большой среди рассматриваемых программ: ковка, штамповка, продольная прокатка, раскатка, прессование, прошивка в стане поперечно-винтовой прокатки и многое другое. Большинство существующих процессов ОМД неоднократно моделировалось сотрудниками кафедры Технологии и Оборудования трубного производства НИТУ «МИСиС» [2-5]. При этом получаемые результаты на 10-15% отличаются от результатов реальных экспериментов.

При моделировании поперечно винтовой прокатки удаётся выделить и качественно и количественно оценить кольцевую зону напряжений в центральных слоях заготовки (как по полю интенсивности напряжений в поперечном сечении, так и с помощью функции Point tracking (рис.2а, 2б)), утяжину, что имеет важное практическое значение. При моделировании процесса прошивки на прессе отличие от реального эксперимента по усилию не превысило 8%, а имитировать центральную дефектную зону непрерывнолитой заготовки при моделировании процесса прошивки удалось с помощью функции Point tracking (рис.2в). С помощью DEFORM 3D в НИТУ «МИСиС» на кафедре ТиОТП решается ряд задач по продольной прокатке, как сортовой, так и листовой, деформации порошковых материалов.

По результатам исследования предложен алгоритм моделирования сквозных технологических процессов производства металлопродукции с использованием вычислительных систем конечно элементного анализа, а именно: ProCAST, SolidWorks и Deform (рис.3).

Алгоритм учитывает различные варианты:

- экспорт результатов из ProCast невозможен: в этом случае фиксируется положение дефектов в непрерывнолитой заготовке или слитке, а затем, задавая их координаты в Deform с помощью функции “Point tracking” отслеживать возникающие в данной области напряжения и осуществлять анализ результатов;

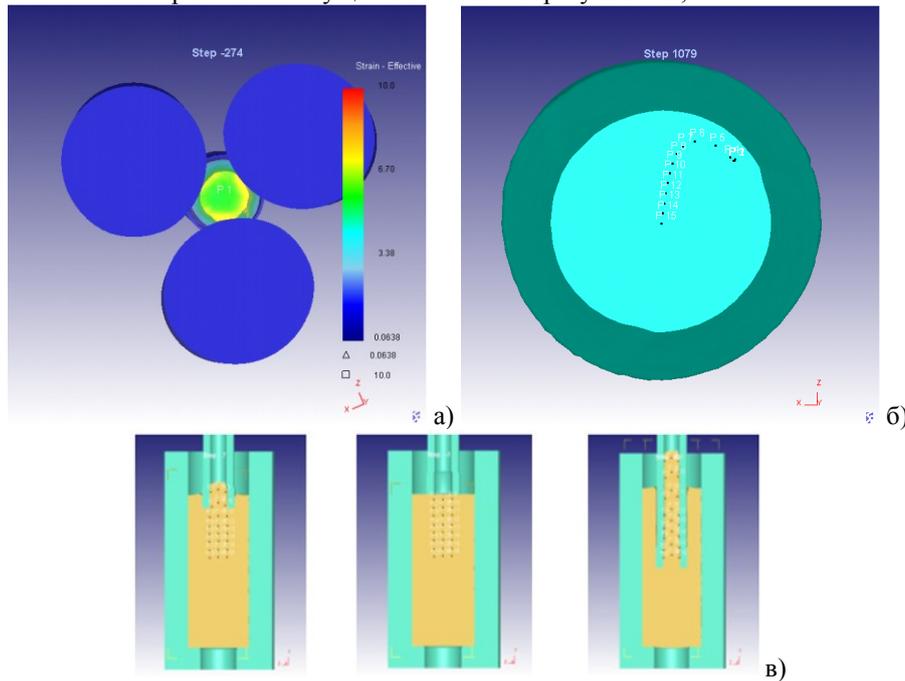


Рис.2 Результаты моделирования процессов поперечно-винтовой прокатки и прошивки на прессе в Deform 3D

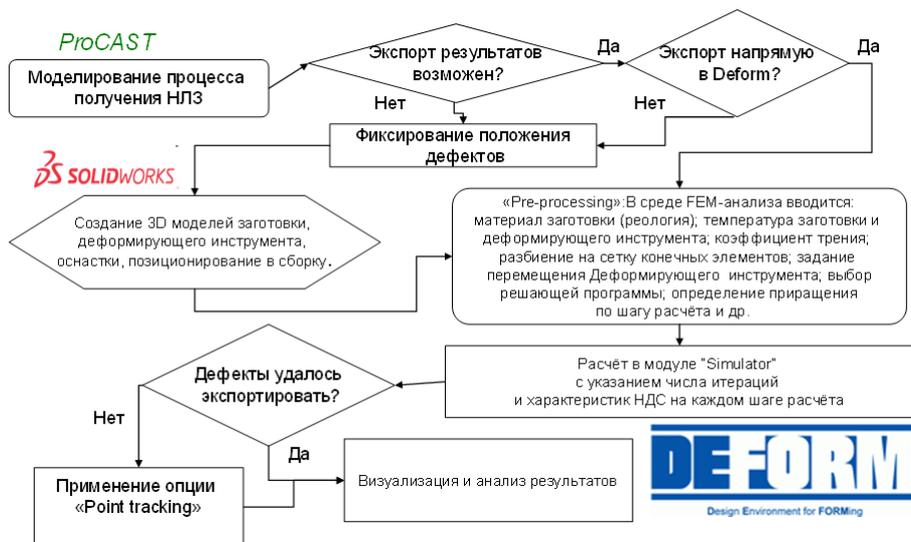


Рис.3 Алгоритм моделирования сквозных технологических процессов

- если экспорт возможен, но не напрямую в Deform, а в программу 3D визуализации типа SolidWorks, то тогда создаваемая модель уже будет учитывать дефекты, и их отслеживание не будет вызывать трудностей;

- наилучший вариант, когда смоделированная непрерывнолитая заготовка или слиток сразу экспортируется в препроцессор DEFORM, минуя другие среды;

Таким образом, проведённый анализ показал, что имеются различные возможности для компьютерного моделирования процессов металлургического производства, при этом наиболее целесообразным для исследования процессов ОМД в технологической цепочке является программа [DEFORM 3D](#). Благодаря имеющимся возможностям по анализу НДС, а также структурно-фазовых изменений применение DEFORM 3D совместно с программами, моделирующими процессы литья, позволит создать компьютерную модель сквозного технологического процесса, начиная с получения непрерывнолитой заготовки или слитка, и заканчивая получением готового изделия. Данная модель позволит прогнозировать структуру и уровень свойств получаемой заготовки в соответствии с предъявляемыми требованиями.

#### Список литературы

1. <http://technomag.edu.ru/doc/113356.html>
2. Romantsev B.A., Skripalenko M.M., Skripalenko M.N., Zhugulev G.P. Choosing the shape and dimensions of punches for the operation of piercing on a press. Metallurgist, Volume 55, Numbers 9-10 (2011), p. 504-509
3. Use of a numerical experiment to determine the trajectories of particles of metal undergoing deformation. B. A. Romantsev, M. M. Skripalenko, G. P. Zhigulev and M. N. Skripalenko. Metallurgist. 2011, Volume 55, Numbers 9-10, Pages 753-757
4. O.A. Kobelev, M.A. Tsepin, M.M. Skripalenko, Vladimir A. Popov. Features of Technological Layout of Manufacture of Unique Mono-Block Large-Dimension Plates. Advanced materials research. Vol 59 (2009), pp 71-75
5. Шишков А.А., Яндимиров А.А., Романенко В.П., Бегнарский В.В., Скрипаленко М.М. Производство заготовок с градиентным распределением свойств методами обработки металлов давлением. Сб. трудов «Стратегия качества в промышленности и образовании» Т.1, Варна, Болгария, 2008, с. 483-486