



## ➤ COPRA FEA RF. ОПТИМИЗИРОВАННАЯ АДАПТАЦИЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ СЕТКИ ДЛЯ ВАЛКОВОЙ ФОРМОВКИ

До недавнего времени единственно возможным способом оценить правильность калибровки валкового инструмента было практическое испытание на стане. Сегодня, благодаря моделированию методом конечных элементов, можно получить информацию о будущем технологическом процессе. Самым эффективным является программное решение COPRA FEA RF, специально разработанное для моделирования процессов валковой формовки.

На основе конструкторских данных, полученных при работе

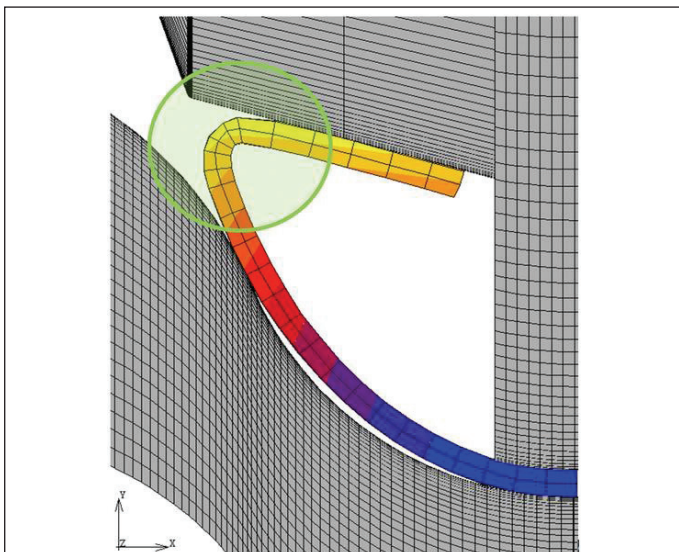
с COPRA RollForm, создается конечно-элементная модель валков формовочного стана и исходной заготовки, которой в процессе формовки предстоит обрести форму готового изделия — профиля.

Математическое моделирование позволяет оценить влияние основных технологических параметров формовки, что в свою очередь исключает необходимость огромных материальных и физических затрат. Инженер получает необходимую информацию о факторах, влияющих на качество получаемого профиля, комплексно.

### Проблематика процесса моделирования методом конечных элементов

Моделирование на основе анализа методом конечных элементов (FEA) — не так давно принятая практика прогнозирования результатов производственных процессов, ключевыми факторами успеха которой являются существенное сокращение затрат на подготовку производства, а также возможность оптимизации процесса проектирования технологического процесса. Тем не менее, исследования с помощью виртуальных моделей могут занимать достаточно много времени.

При моделировании с помощью метода конечных элементов весь объем объекта исследования (формуемой полосы, валкового инструмента), который участвует в процессе расчета, разбивается на конечные элементы — создается так называемая сетка, качество которой имеет определяющее влияние на точность результатов. Но чем более точная и плотная сетка используется при моделировании, тем большее количество вычислений предстоит выполнить. Следовательно, сетку необходимо совершенствовать только там, где материал деформируется, — как правило, это будут места изгиба. При запуске про-



Изменение сетки в точке изгиба

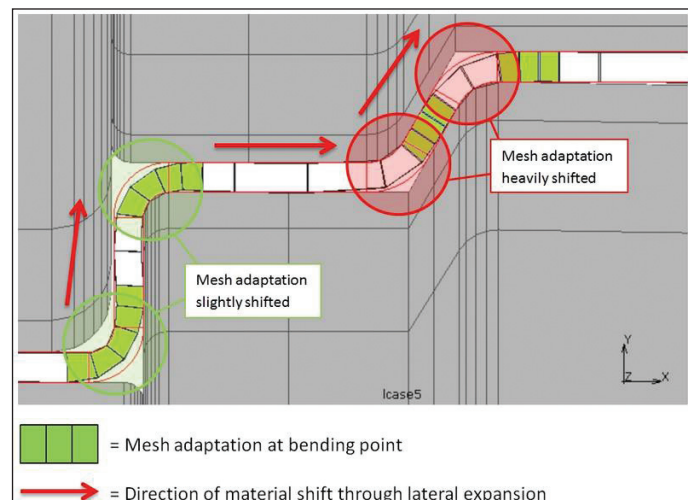
процесса моделирования положение точки изгиба предсказать довольно трудно, так как мы имеем дело с сопутствующими явлениями процесса формообразования, обусловленными различными факторами. В результате происходит смещение материала и получаемый профиль перестает соответствовать теоретическому, относительно которого в COPRA RF проектируется валковый инструмент.

В связи с этим возникает необходимость в перестроении конечно-элементной модели, а после каждого "исправления" требуется запускать расчет заново — в конце концов процесс оказывается достаточно долгим.

Компания data M смогла реализовать в программном решении COPRA FEA RF усовершенствованную функцию адаптивного перестроения конечно-элементной модели в процессе расчета. Это эффективное решение проблемы, позволяющее избежать длительных процессов повторного моделирования, необходимого при коррекции расчетной модели.

## О стандартной функции адаптации сетки

Сегодня в программных решениях для моделирования на основе метода конечных элементов существует единый метод работы по уточнению сетки — локальное адаптивное усовершенствование, автоматически выполняемое с определенными предусловиями: например, с такими, как предельные значения деформаций и напряжений. Этот метод является обобщенным и не предполагает особых приемов



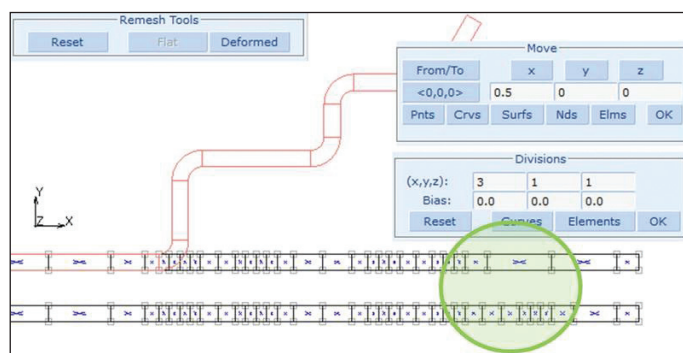
Изменение положения точек изгиба материала полосы

моделирования, рассчитанных именно на валковую формовку. Как следствие, возникает риск ошибочной идентификации точек изгиба и неверных действий по совершенствованию сетки.

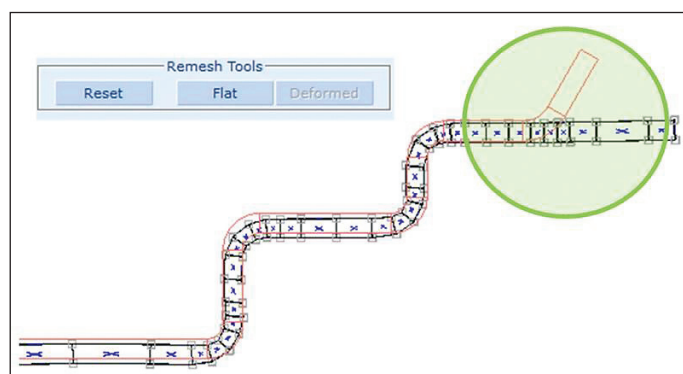
Практика показывает, что в условиях, когда деформация полосы происходит в двух и более местах, нельзя с уверенностью предсказать положение точек исходной заготовки после изгиба: появление уширения/сужения формуемой заготовки может очень сильно изменить положение этих точек.

Еще одним недостатком метода является разбиение элементов сетки по трем осям, что экспоненциально увеличивает число элементов. Необходимо отметить, что качество вновь сгенерированной сетки с высокими степенями преобразования уже не может быть впоследствии улучшено.

## COPRA FEA RF. Функция перезапуска расчетной модели



Адаптация сетки для плоской полосы



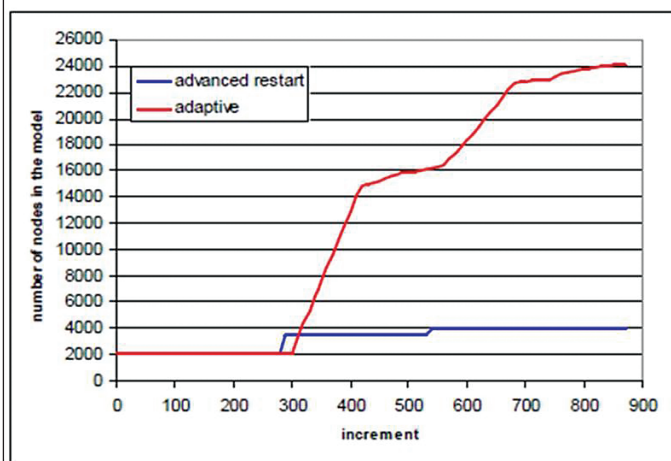
Проверка адаптации сетки в деформированном состоянии. Сравнение представленной полосы деформированной сетки с поперечным сечением, спроектированным в COPRA RF

Для эффективного решения проблем, перечисленных выше, компания data M совместно с пользователями разработала для своего программного обеспечения COPRA FEA RF усовершенствованную функцию адаптации и перезапуска.

Вот основные преимущества этой функции:

- Процесс вычисления останавливается перед моментом входа материала в клеть. При этом уже учтены деформации, которые появятся при формовке, а в конечно-элементную сетку внесены необходимые усовершенствования.
- В процессе адаптации учитываются любые деформации, вызванные контактными явлениями с валковым инструментом. При этом усовершенствование сетки происходит применительно к плоской полосе, а результаты проецируются на деформированную геометрию. Таким образом, пользователь может проверить изменения в деформированном состоянии материала и непосредственно сравнить их с теоретическим сечением профиля, заложенным на стадии проектирования валкового инструмента. При необходимости возможно независимое совершенствование сетки в двух различных направлениях.
- Процесс вычисления продолжается уже с адаптированной сеткой.

Таким образом, эта процедура позволила сократить общее время моделирования. Понятно, что усовершенствованная



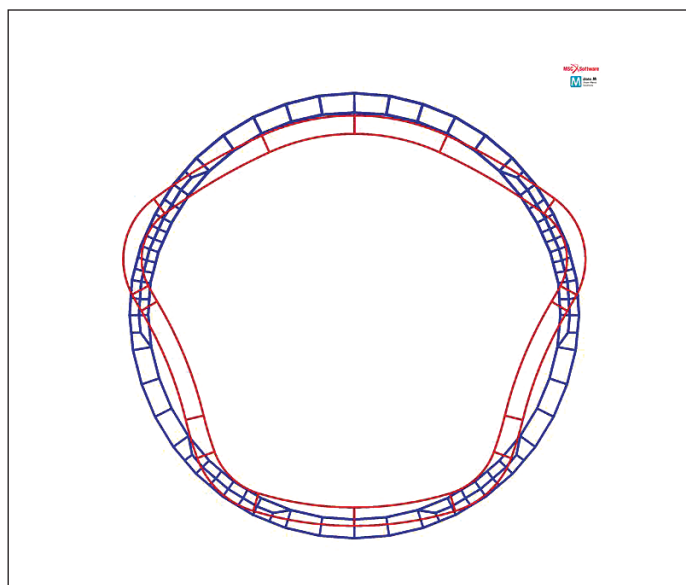
Прямое сравнение моделирования FEA с локальным адаптивным усовершенствованием (красная линия графика) и усовершенствованного перезапуска COPRA (синяя линия графика)

функция перезапуска нового COPRA FEA RF полезна во всех случаях, но прежде всего при сжатых сроках выполнения заказа.

По сравнению с интерактивной адаптацией сетки новый функционал COPRA FEA RF позволяет очень существенно увеличить число элементов, включенных в процесс локального адаптивного усовершенствования, — при одновременном сокращении времени моделирования процесса валковой формовки. Так, в одном из примеров усовершенствованный перезапуск позволил уменьшить время расчета со 128 до 5 часов.

## Практическое применение функции перезапуска

Рассмотрим, как происходит адаптация конечно-элементной сетки в случае формообразования фигурной трубы. Исходная

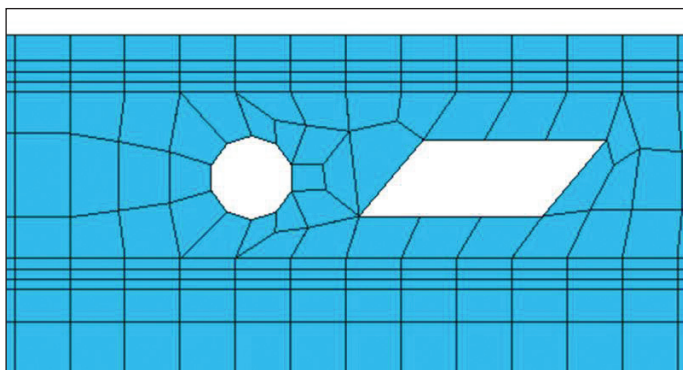


Сравнение контура формирующейся трубы с сеткой, адаптированной в точке изгиба

заготовка представлена в виде структурированной сетки универсальной формы. Создание сетки, адаптированной к геометрии в форме трубы, потребовало изменений. С этой целью исходная труба представляется в виде плоской заготовки — совершенствуется сетка в точках изгиба формирующейся трубы, после чего измененная сетка снова преобразуется в контур получаемой трубы.

Метод наложения поперечных сечений трубной заготовки позволяет управлять адаптацией сетки или ее усовершенствованиями и при необходимости корректировать их,

С помощью усовершенствованной функции перезапуска можно вводить элементы перфорации. Напомним, что в данном случае моделирование доходит до момента входа листа в фор-



Пример сетки с введенным образцом отверстия

мовочную клеть. После этого адаптированная сетка генерируется согласно шаблону отверстий, созданному в COPRA RF, а затем сетка импортируется для перезапуска в среду моделирования. Старые результаты моделирования автоматически отображаются на сетке, и моделирование может продолжаться с элементами перфорации.

Обновленный функционал программного обеспечения COPRA FEA RF создает в процессе расчета файл результатов, в котором отображаются отдельные этапы моделирования между перезапусками, и последовательно нумерует эти этапы. Таким образом обеспечивается возможность простой и удобной оценки результатов моделирования даже при многократных перезапусках.

*По материалам компании data M*

*подготовили  
Антон Лепестов,  
Марк Гусев*