

Автоматизированное проектирование матричной оснастки для прессования алюминиевых профилей с применением программ *QExDD* и *QForm-Extrusion*

Сергей Стебунов, Алексей Дюжев, Иван Князькин (ООО "КванторФорм", Москва)

Годы интенсивной разработки численного моделирования процессов прессования привели к завершенности и практической применимости метода. Неотъемлемым требованием точного моделирования процесса является высокое качество объемных моделей матричной оснастки, в то время как многие производители до сих пор проектируют матричный комплект путем выполнения плоских чертежей без объемных моделей. Чтобы увеличить удобство работы конструкторов матричной оснастки в соответствии с требованиями моделирования, была разработана новая система автоматизированного трехмерного проектирования *QForm Extrusion Die Designer (QExDD)*. Система не только ускоряет создание 3D-модели инструмента, но и предлагает интерфейс для упрощенного обмена данными с программой моделирования процесса прессования *QForm-Extrusion*, что обеспечивает быстрый анализ течения металла и позволяет оптимизировать конструкцию инструментов до их изготовления в металле. В статье изложены основные принципы этого подхода и пример его применения в производстве.

Введение

Многолетняя работа коллектива ООО "КванторФорм" над разработкой и внедрением программного обеспечения для моделирования процесса прессования показала, что получение точных результатов (в особенности, для тонкостенных профилей сложной формы) требует учета большого количества параметров процесса.

Численная модель, используемая в *QForm-Extrusion*, базируется на подходе Лагранжа-Эйлера. Расчетная область заготовки разделяется на две зоны: модель Эйлера – в полостях матричной оснастки; модель Лагранжа – для моделирования течения свободного конца профиля. Моделирование процесса позволяет предсказывать нежелательные дефекты формы профиля и находить способы их исправления. Для точного предсказания силы прессования, характера течения металла, температуры профиля и прогиба инструментов расчетная модель апробировалась экспериментально на многочисленных промышленных примерах [1]. Всесторонний анализ точности результатов работы программы также производился в рамках *ICEV 2007, 2009, 2013* и *2015* посредством сравнения результатов с экспериментальными данными.

Следующим этапом разработки имитационной модели стал совместный расчет течения металла и упругой деформации инструментов оснастки. Как показано в работе [2], прогиб и искажение поверхностей инструментов в некоторых случаях могут оказать серьезное влияние на характер течения металла. Вследствие деформации инструментов угол наклона калибрующего пояска может изменяться в пределах нескольких десятков угловых минут и создавать ускоряющие и тормозящие области. Даже такое малое изменение угла наклона может оказать серьезное влияние на характер течения металла. Кроме того, упругие деформации инструментов и, в частности, раскатателя, могут приводить к смещению элементов конструкции, что влияет на точность формы профиля, а также значительно меняет течение.

Учитывая влияние деформации инструментов на течение металла, мы сталкиваемся с несколькими сложными проблемами. Относительное линейное смещение соответствующих калибрующих поясков может превышать 0.5 мм, что соизмеримо с толщиной изделия. Когда соответствующие пояски смещаются из-за упругих деформаций, мелкие конечные элементы в профиле сильно искажаются, и дальнейшее использование исходной конечно-элементной сетки расчетной области заготовки становится невозможным. В нашей модели эта проблема решается автоматическим переразбиением расчетной области – для получения качественной сетки в процессе совместного итерационного расчета с упругим инструментом [3].

Добившись качественного предсказания характера течения, мы ожидали значительного увеличения числа пользователей нашего ПО в промышленности. К сожалению, мы столкнулись с трудностями, препятствующими широкому распространению программы для моделирования среди производителей оснастки и прессовых производств. На многих производствах оснастку до сих пор разрабатывают на основе плоских чертежей и не используют полноценных объемных моделей. Кроме того, не каждая модель пригодна для создания расчетной конечно-элементной сетки: качественная модель характеризуется правильными поверхностями и переходами между ними. Зазоры между соседними гранями или их наложение делают получение сетки практически невозможным. Такая модель

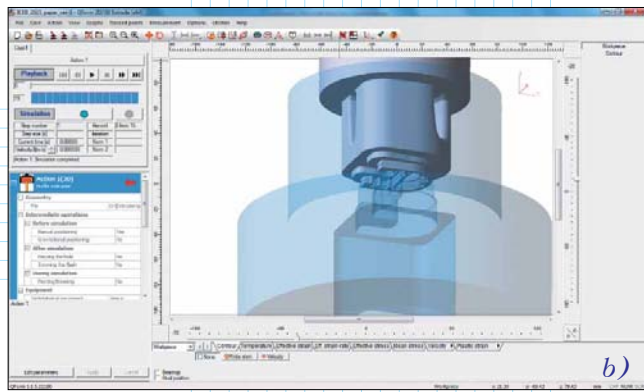
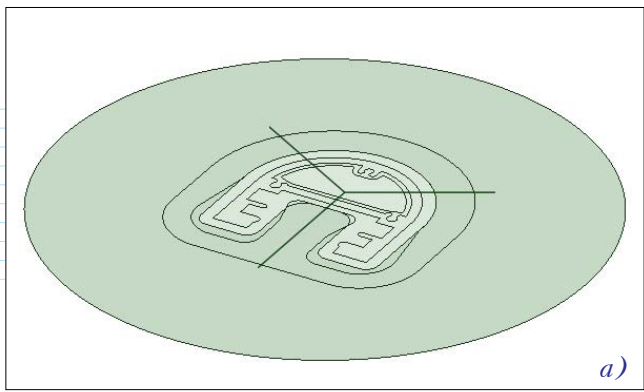


Рис. 1. Плоский чертеж профиля с дополнительными контурами (а) и трехмерная модель матричной оснастки, подготовленная для моделирования прессования (б)

должна быть исправлена вручную с помощью специальных программ, что зачастую требует больше времени, чем само моделирование процесса прессования.

В этой ситуации совершенно логично сделать следующий шаг и разработать ПО для создания и изменения объемных моделей матричной оснастки и объединить её с программой для моделирования процесса. Система *QForm Extrusion Die Designer* автоматизирует процесс проектирования матричной оснастки и значительно ускоряет разработку; она также позволяет создавать 3D-модели инструмента по существующему чертежу. Это программное приложение является надстройкой системы *Ansys SpaceClaim* [4]. Имеется и специальный интерфейс для двустороннего обмена данными с системой *QForm-Extrusion*, что делает процесс проектирования простым и быстрым.

Работа начинается с создания плоского чертежа профиля, дополнительных контуров сварочной камеры, форкамеры, подкладной плиты и центральных линий перемычек (рис. 1).

Пример работы. Разработка оснастки с помощью QExDD

QExDD – система параметрического проектирования прессовой оснастки для производства сплошных и полых профилей из алюминиевых сплавов с прямым подходом к проектированию. Эта система позволяет создавать, редактировать и исправлять геометрию матричной оснастки. Объемные модели инструментов, созданные в *QExDD*, могут быть использованы для моделирования процесса прессования и для подготовки в *CAM*-системе управляющей программы по изготовлению оснастки.

Матрица является основным элементом любой матричной оснастки, поэтому проектирование начинается именно с нее. Для создания матрицы используются наружный контур профиля, контуры сварочной камеры и форкамеры, а также внешний контур оснастки. Параметризация производится в специальном окне (рис. 2а). На основе перечисленных контуров (рис. 2б) с помощью нескольких последовательных шагов мы получаем параметрическую модель матрицы (рис. 2с).

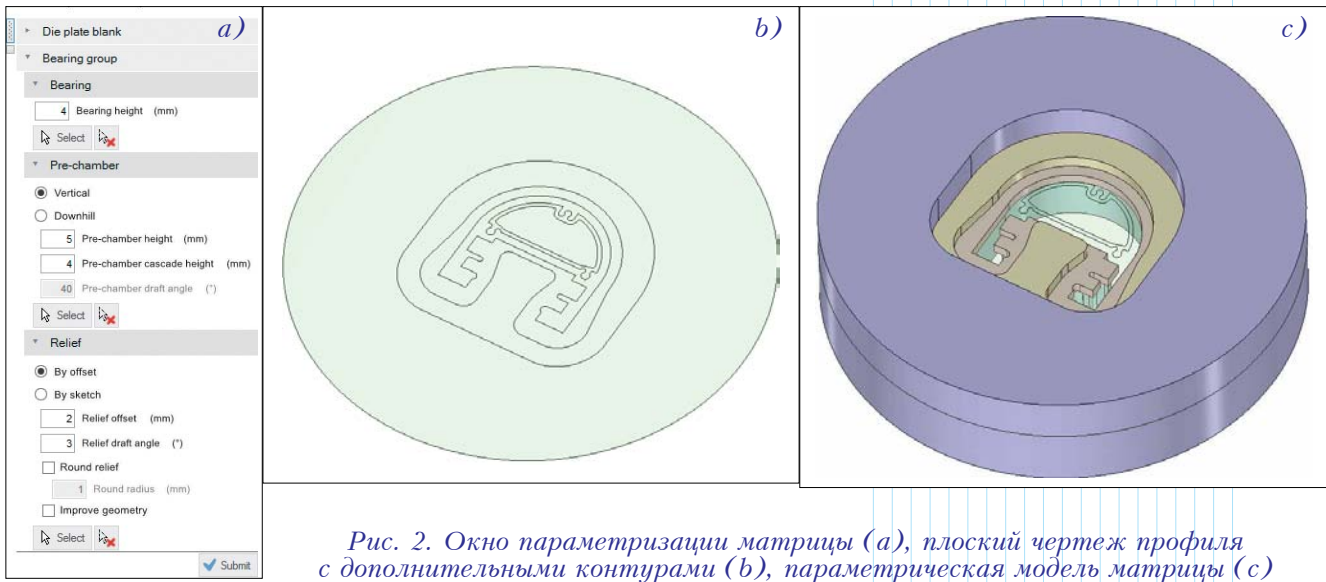


Рис. 2. Окно параметризации матрицы (а), плоский чертеж профиля с дополнительными контурами (б), параметрическая модель матрицы (с)

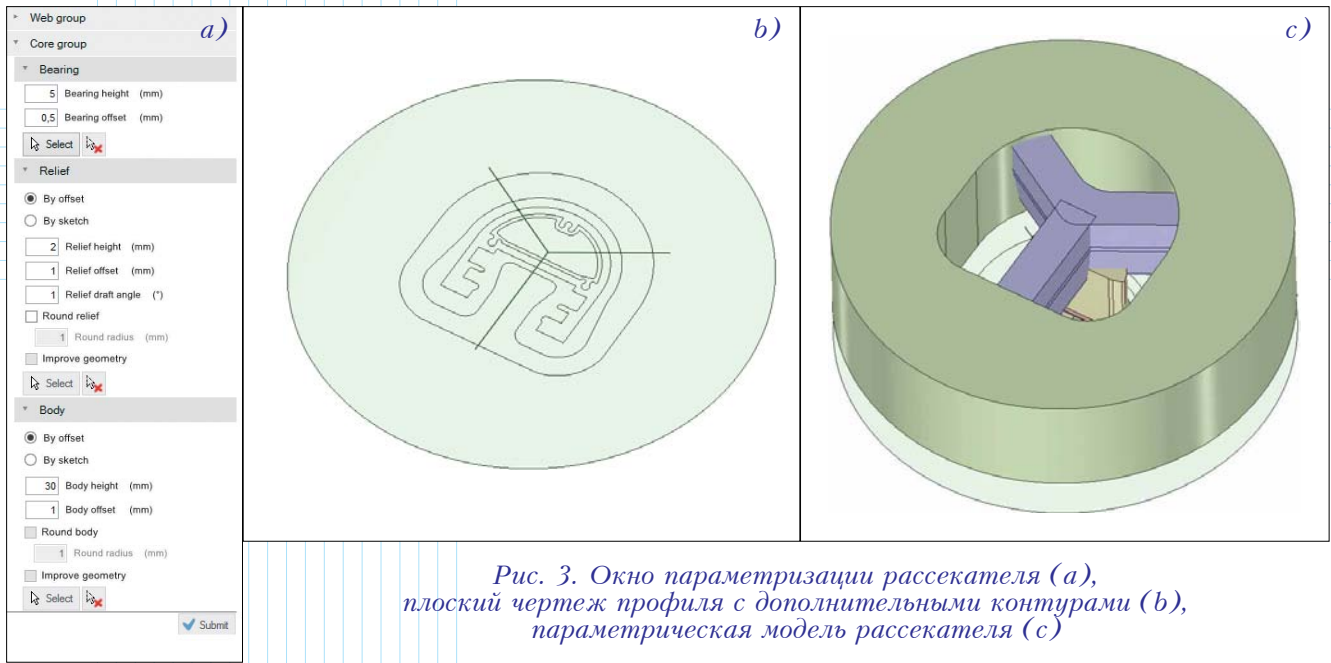


Рис. 3. Окно параметризации рассекателя (а), плоский чертеж профиля с дополнительными контурами (б), параметрическая модель рассекателя (с)

Вторым этапом является параметризация рассекателя. Для нее требуются внутренний контур профиля, внутренний контур расширителя и набор центральных линий перемычек (рис. 3б). Для ускорения параметризации перемычки одного размера и формы объединяются в группы. После выбора набора центральных линий и ввода параметров в форме параметризации (рис. 3а), мы получаем параметрическую модель рассекателя (рис. 3с). Похожим способом мы создаем 3D-модель подкладной плиты на основе нескольких простых параметров.

В процессе параметризации система QExDD также позволяет автоматически создавать распушку (выходная часть матрицы и рассекателя) на основе контура профиля и нескольких параметров – таких, как смещение контура и угол наклона распушки. В состав системы включен редактор поясков, позволяющий задавать переменную длину пояска вдоль контура профиля. Более того, длины поясков можно назначать автоматически. Этот алгоритм базируется на эмпирических правилах: длина пояска зависит от толщины профиля, расстояния до центра комплекта, размеров и взаимного расположения питателей и параметров форкамеры. Конечно, полученный контур калибрующих поясков не окончательный, но

является хорошей отправной точкой для дальнейшей оптимизации течения металла уже на основе результатов моделирования процесса.

Далее, созданные поэлементно параметрические модели матрицы и рассекателя объединяются. На этом этапе создаются необходимые плавные переходы. В результате получается объемная модель матричного комплекта (рис. 4б).

Пример работы. Улучшение конструкции матрицы по результатам моделирования

Последним этапом работы является сохранение 3D-модели оснастки (рис. 4б) в специальном формате и отправка в QForm-Extrusion для

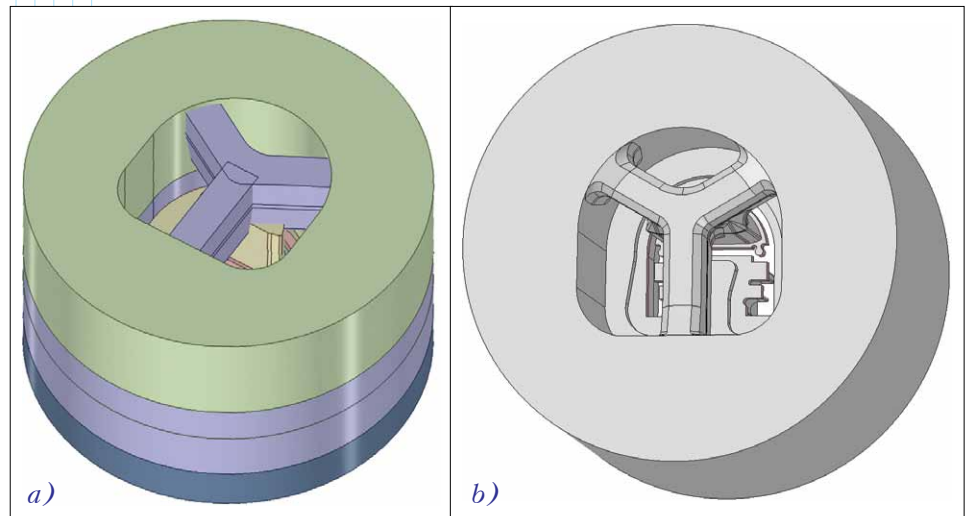


Рис. 4. Поэлементная параметрическая модель рассекателя (а) и объединенная 3D-модель матричного комплекта, готовая к выполнению моделирования процесса (б)

дальнейшего создания конечно-элементной сетки и моделирования процесса.

Создание сетки выполняется в модуле *QShape*. Там же создается расчетная область заготовки.

Она заполняет внутренние полости контейнера и матричного комплекта, включая зону калибрующих поясков. Контуры поясков, созданные в *QExDD*, импортируются вместе с моделью оснастки и отображаются в *QShape* в виде развертки.

На рис. 5 показано окно “Редактора поясков” *QShape*, где видна развертка калибрующих поясков вдоль контура профиля. Такое представление позволяет редактировать контур поясков не возвращаясь в *CAD*-систему. Окончательный вариант контура поясков может быть экспортирован для использования в производстве матрицы.

Моделирование было произведено со следующими параметрами: материал заготовки АД33 (*ISO 6061*), температура заготовки 450°C, температура оснастки 400°C, скорость пресс-штемпеля – 5 мм/с. Моделирование показало, что скорость течения в концевых зонах профиля в 24 раза больше, чем в центральной (рис. 6). Такой разброс объясняется большим размером питателей, расположенных над концевыми зонами, что облегчает течение металла в этих областях. Таким образом, начальная конструкция инструментов оказалась неудачной.

Изменим расположение питателей для уменьшения объема металла, поступающего к концевым зонам профиля. Для этого повернем центральные линии питателей на 180°, как показано на рис. 7а. Затем повторим следующие шаги проектирования до получения объемной модели оснастки с противоположным расположением перемычек (рис. 7б), а также получим конечно-элементную сетку расчетного объема заготовки для проведения моделирования (рис. 7с).

Результаты второго моделирования свидетельствуют о более сбалансированном течении металла (рис. 8). Соотношение скоростей

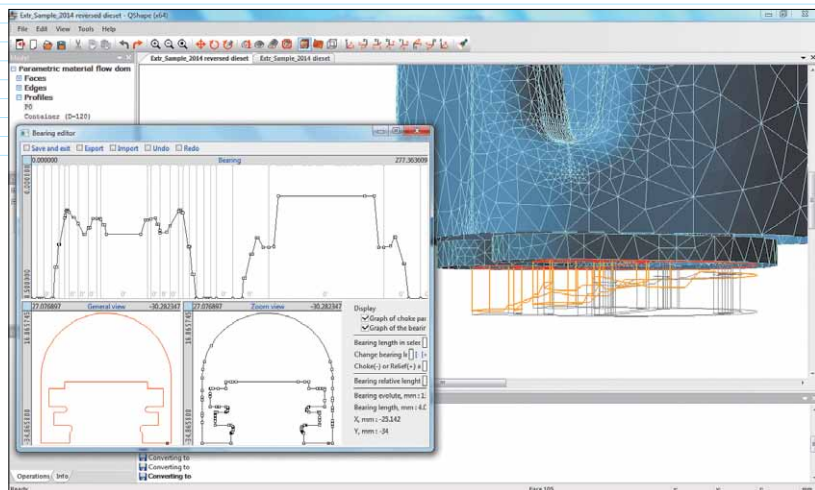


Рис. 5. Параметрическое представление расчетной области заготовки (справа) и развертка калибрующих поясков в окне “Редактора поясков” (слева)

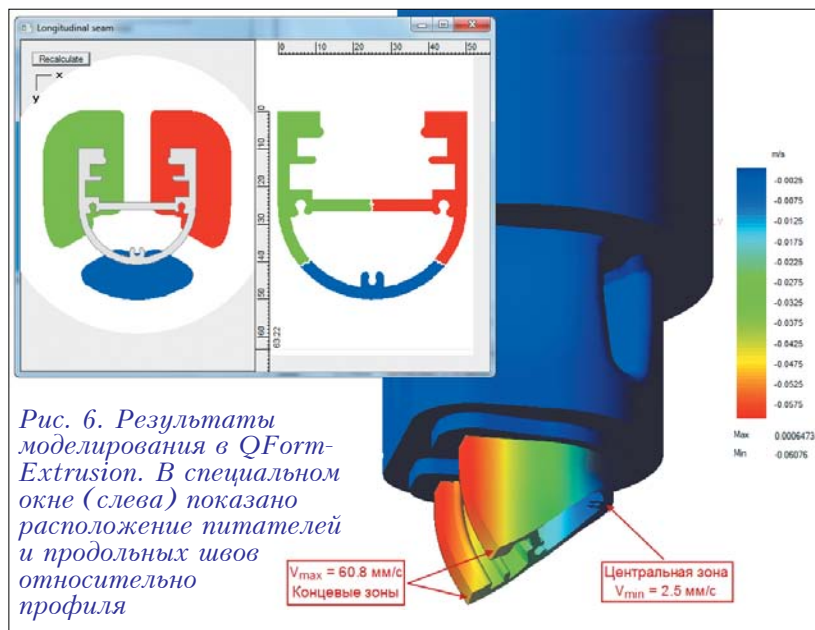


Рис. 6. Результаты моделирования в *QForm-Extrusion*. В специальном окне (слева) показано расположение питателей и продольных швов относительно профиля

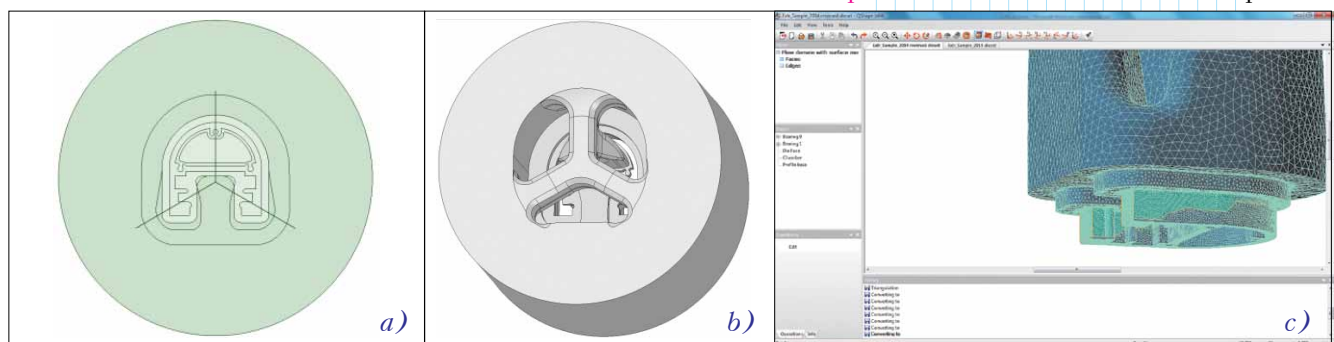


Рис. 7. Второй вариант конструкции питателей в виде плоских контуров (а), объемной модели (б) и расчетного объема заготовки с сеткой, готовой для моделирования (с)

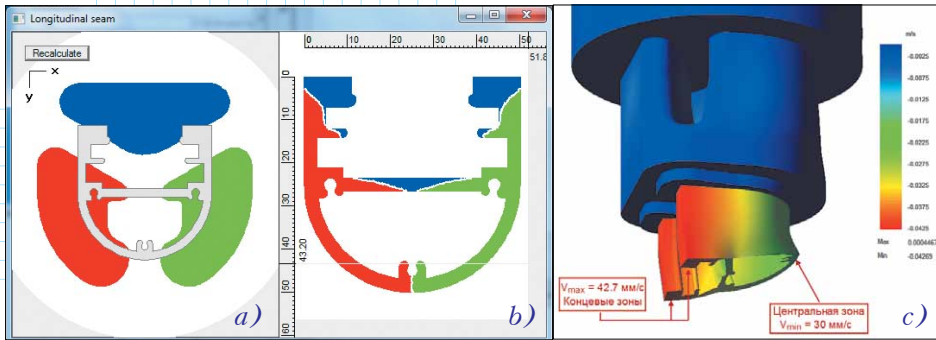


Рис. 8. Второй вариант конструкции питателей: расположение питателей (а) и продольных швов (б) относительно профиля и отображение поля скоростей в профиле (с)

концевых и центральных зон не превышает 1.45, и его можно исправить корректировкой зоны калибрующих поясков. Поскольку дальнейшее увеличение длины поясков в концевых зонах не окажет особого влияния на течение, более эффективным является вариант назначить в этих областях тормозящие углы. Новая модификация произведена в “Редакторе поясков” QShape (рис. 9).

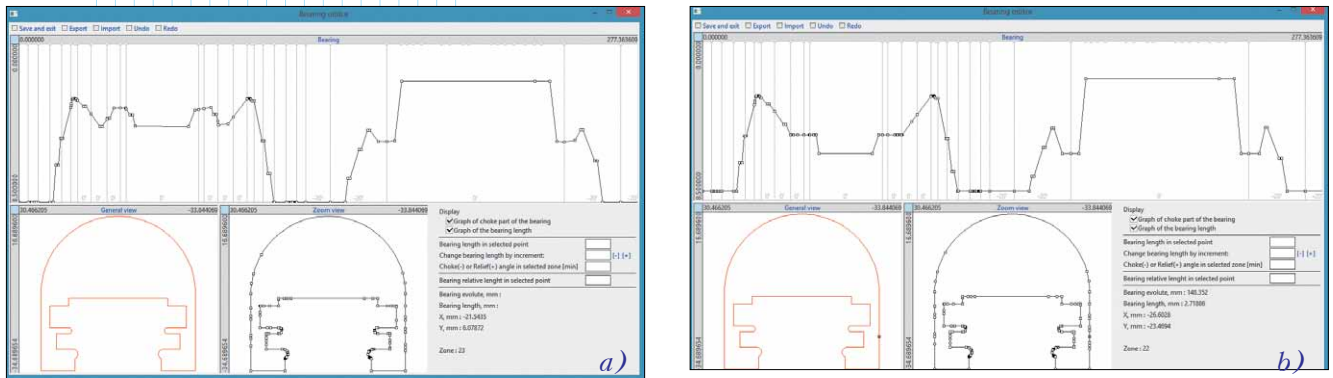


Рис. 9. Конструкция поясков, созданная в QExDD, с добавлением тормозящих углов в концевых зонах (а) и модифицированный контур после третьего моделирования (б)

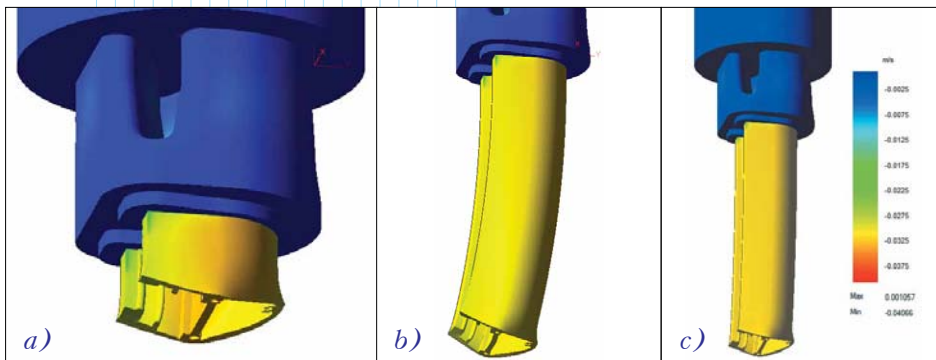


Рис. 10. Течение металла после применения тормозящих углов в концевых зонах и третье моделирование (а, б). Четвертое моделирование – с модифицированными поясками (с)

Третье моделирование показало значительное изменение характера течения. В начале процесса скорость центральной перемычки профиля немного больше, чем в остальных зонах (рис. 10а). На большей длине переднего конца наблюдается небольшой изгиб в сторону концевых отростков (рис. 10б). Для исправления этого дефекта произведена корректировка поясков, показанная на рис. 9б.

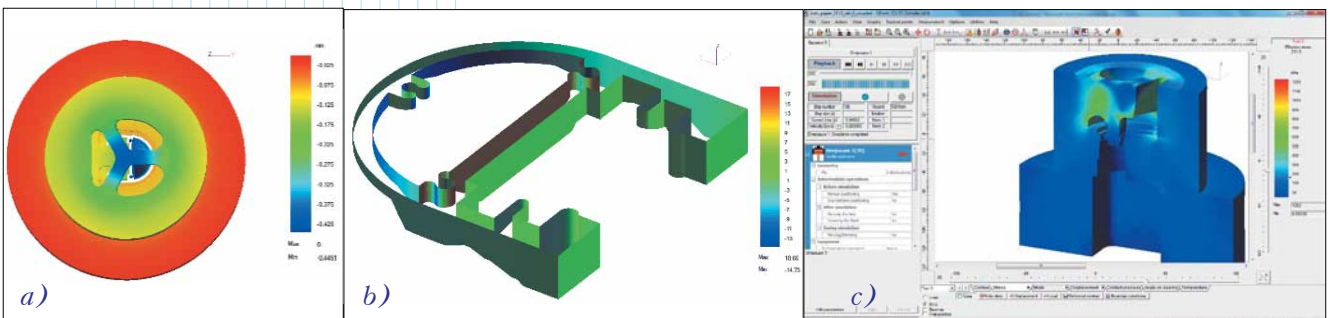


Рис. 11. Осевое смещение точек инструментов (а), углы наклона поясков (б), распределение эффективных напряжений в оснастке (с)

Четвертое моделирование показало ровный выход даже на большой длине переднего конца (рис. 10с). Стоит заметить, что моделирование производилось в режиме совместного расчета, что означает учет влияния деформации и прогибов инструментов оснастки на течение металла. Вертикальное смещение точек оснастки показано на рис. 11а. Углы наклона поясков с учетом деформации инструментов видны на рис. 11б. На рис. 11с представлено распределение эффективных напряжений в поперечном сечении оснастки.

Заключение

В статье описано практическое применение программных средств моделирования процесса прессования для определения характера течения, силы прессования, температурных полей и напряжений в инструменте.

Сложности в создании качественных объемных моделей инструментов препятствуют использованию ПО для моделирования процесса прессования в производстве. Авторами разработана программа QExDD, ускоряющая создание 3D-моделей матричной оснастки и сокращающая разрыв между проектированием оснастки и моделированием процессов. Эффективность

применения QExDD в связке с программой для моделирования процесса показана на производственном примере проектирования оснастки для прессования полого профиля. За четыре итерации моделирования достигнуто равномерное истечение профиля. При этом на моделирование требуется меньше времени, чем на проведения натуральных экспериментов. ☺

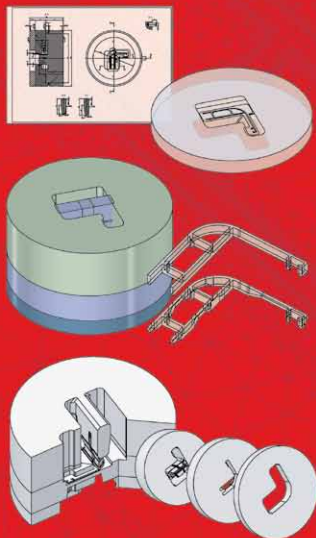
Список литературы

1. Stebunov S., Lishnij A., Biba N. *Development and industrial verification of QForm-Extrusion program for simulation profile extrusion* // Proceeding of International Conference on Extrusion and Benchmark (Dortmund, Germany), 2009, pp. 41–42.
2. Stebunov S., Biba N., Vlasov A., Maximov A. *Thermally and mechanically coupled simulation of metal forming processes* // Proceedings of the 10th International Conference on Technology of Plasticity (Aachen, Germany), 2011, pp. 171–175.
3. Biba N., Stebunov S., Lishnij A. *Simulation of material flow coupled with die analysis in complex shape extrusion* // Key Engineering Materials, 2014, Vol. 585, pp. 85–92.
4. *3D Modeling Software for Engineering* // SpaceClaim // <http://spaceclaim.com>

QUANTORFORM

QEXDD

QFORM-EXTRUSION DIE DESIGNER*
СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАТРИЧНОЙ
ОСНАСТКИ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ ПРОФИЛЕЙ
на базе ANSYS SpaceClaim



Проектирование 3D моделей инструментов с нуля и на основе 2D чертежа оснастки

Создание параметрических моделей и оптимизация поясков в специальном редакторе

Получение качественных 3D моделей оснастки для производства

Прямой интерфейс с программой для моделирования процессов прессования QForm-Extrusion

ООО «КванторФорм»

www.qform3d.ru

+7 499 643 04 53