



Интерфейс sim link позволяет существенно ускорить технологическую подготовку производства, оптимизировать процесс литья под давлением и повысить его производительность. Примером служит изготовление в одной семейной форме внутренней обшивки двери автомобиля, кармана для карт и элемента жесткости (источник: iStock)

ОБЪЕДИНЕНИЕ ПРОЦЕССОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РЕАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ЛИТЬЕМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

А. АНГЕРЕР, д-р, ENGEL Austria (г. Швертберг, Австрия)

Интерфейс передачи данных sim link компании ENGEL призван объединить моделирование и реальный процесс литья под давлением, чтобы обеспечить еще большую поддержку переработки пластмасс на протяжении всего жизненного цикла выпуска продукции – от разработки изделия и литейной формы до текущего серийного производства. Это наглядно продемонстрировано на примере сложных по конструкции автокомпонентов, изготавливаемых в семейной форме.

Обычно еще до проектирования формы для разрабатываемого литейного изделия собирается огромное количество информации. Например, с помощью известной программы вычислительной термодинамики CFD (Computational Fluid Dynamics) определяются возможные точки впрыска, проверяются характеристики заполнения расплавом перерабатываемого материала формообразующих гнезд, устанавливаются граничные условия для будущего процесса литья под дав-

лением и оптимизируется режим термостатирования формы. Если результаты моделирования удовлетворительны, можно приступать к изготовлению оснастки. Затем следуют первоначальная отработка режима литья и литейной формы, оптимизация настроек машины и, наконец, серийное производство. Однако часто уже при изготовлении первых опытных образцов изделия становится очевидным, что для достижения желаемого качества продукции требуется доработка гнезд. Это может сильно

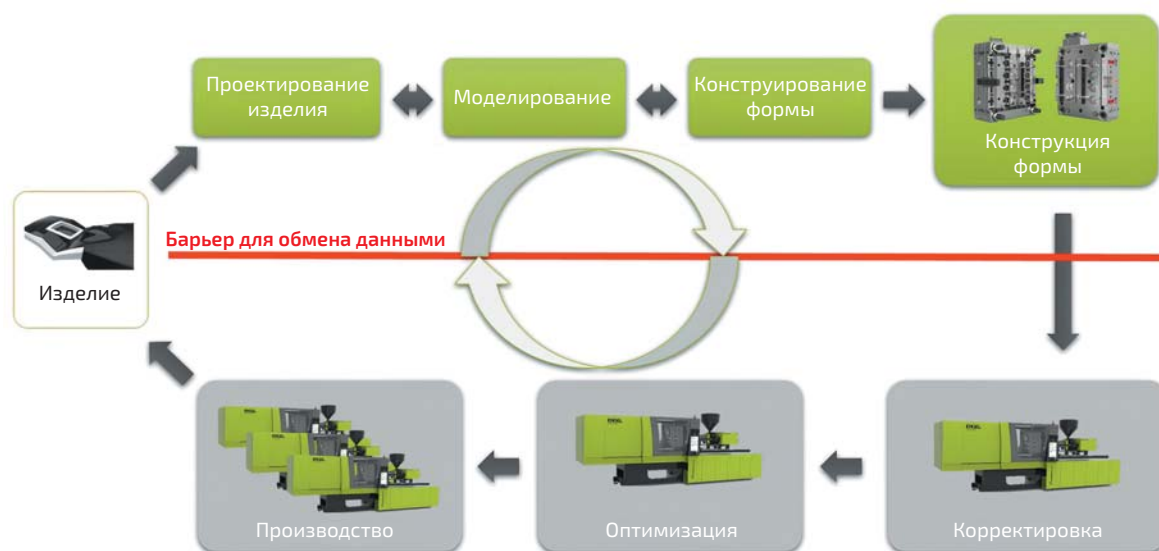


РИС. 1. Интерфейс sim link позволяет преодолеть барьер для обмена данными между программой моделирования и литейной машиной

повысить стоимость проекта и увеличить время выхода нового продукта на рынок.

Возможные причины ошибок и, как следствие, дополнительных расходов заключаются в том, что многие параметры процесса литья, определенные в ходе моделирования, не могут быть использованы в производственном процессе или, например, выбранная литейная машина не может обеспечить объемный расход расплава при впрыске, рассчитанный в результате моделирования. Основные причины подобных ошибок заключаются в том, что данные моделирования иногда требуют сложного преобразования, а ограничения, связанные с литейной машиной, при моделировании не учитываются. Кроме того, специалист по моделированию практически не имеет обратной связи с литейной машиной и информации о том, насколько достоверен набор корректирующих данных, связанных с формой, и каково качество моделирования.

Специалисты ENGEL предложили решать эти проблемы с помощью интерфейса sim link, который позволяет передавать полученные в ходе моделирования расчетные данные непосредственно в систему управления литейной машиной в качестве первоначальных настроек и напротив – передавать данные реального процесса обратно в созданную модель (рис. 1). Цель состоит в том, чтобы, последовательно улучшая точность и достоверность модели, оптимизировать режим литья. Это также позволяет специалистам по моделированию и технологам извлекать обоюдную пользу из полученных результатов и повышать свою квалификацию, обмениваясь знаниями и опытом (более подробно о моделировании см. в справке № 1. – *Прим. ред.*).

СПРАВКА № 1

Что такое моделирование

Моделирование – общеметодологический принцип науки и одна из основных категорий теории познания: на идее моделирования базируется любой метод научного исследования – как теоретический (при котором используются различного рода знаковые, абстрактные модели), так и экспериментальный (использующий предметные модели). В связи с этим понятия моделирования и модели имеют два значения (www.academic.ru).

Моделирование – 1) исследование каких-либо явлений, процессов или объектов путем построения и исследования их моделей; 2) использование моделей для определения или уточнения характеристик и рационализации способов построения вновь конструируемых объектов.

Модель (от лат. *modulus* – мера, образец) – 1) в широком смысле – любой образ (мысленный или условный: изображение, описание, график, план, карта и т.п.) какого-либо явления, процесса или объекта («оригинала» данной модели), используемый в качестве его «заместителя», «представителя»; 2) устройство, воспроизводящее, имитирующее строение и действие какого-либо другого, моделируемого устройства в научных, производственных или других целях.

В таблице приведена классификация моделей.

КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ

Признак классификации	Вид модели
1. Тип объекта моделирования	1.1. Модель физического тела. 1.2. Модель процесса или явления
2. Определяющие свойства объекта, характеризующие моделью	2.1. Геометрическая, в том числе полномасштабная ($M = 1:1$) или геометрически подобная ($M \neq 1:1$). 2.2. Физическая, в том числе реологическая, теплофизическая или другая. 2.3. Химическая. ...
3. Назначение модели	3.1. Прогнозирования поведения оригинала. 3.2. Проведения эксперимента. 3.3. Оптимизации оригинала. ...
4. Способ представления	4.1. Символьная. 4.1.1. Словесная. 4.1.2. Графическая. 4.1.3. Математическая, в том числе аналитическая или эмпирическая 4.2. Материальная. 4.2.1. Натурная. 4.2.2. Модель-аналог

ЧЕМ РЕАЛИСТИЧНЕЙ МОДЕЛЬ, ТЕМ ТОЧНЕЕ РЕЗУЛЬТАТ

Точность моделирования в значительной степени зависит от точности модели и качества исходных данных. Другими словами, если будет «мусор на входе», получим «мусор на выходе» (garbage-in-garbage-out). Поэтому чем реалистичнее модель, тем точнее результаты моделирования и тем больше преимуществ от его использования в работе. Интерфейс sim link одинаково хорошо работает как постпроцессор, экспортируя начальные настройки на литьевую машину, так и препроцессор, импортируя производственные данные. Программное обеспечение sim link нацелено на создание начальных модельных настроек для литьевой машины, на которой изготавливается конкретное изделие, и постоянное повышение точности моделирования за счет обратной связи с производством. С этой целью sym link оснащен тремя функциями – модификации, экспорта и импорта.

Функция модификации адаптирует модельный профиль изменения, например, давления впрыска к реальным динамическим характеристикам выбранной литьевой машины с учетом их граничных значений. Это значительно повышает точность модели. С помощью функции модификации можно также оценить, действительно ли изделие может быть изготовлено на выбранной литьевой машине.

Функция экспорта автоматически, на основе данных моделирования, создает набор данных изделия и передает его непосредственно в систему управления литьевой машины ENGEL. При этом модельные настройки преобразуются таким образом, чтобы система управления могла их правильно интерпретировать. Таким образом, оператор может одним нажатием кнопки перенести настройки из модели на машину и тут же приступить к производству.

Функция импорта передает реальные значения параметров литья и сигналы измерений с литьевой машины обратно в программу моделирования, автоматически преобразуя их для обработки. Эта обратная связь позволяет специалисту по моделированию проверять точность своей модели, сравнивать теоретические и фактические профили давления впрыска и приобретать при этом дополнительные знания, повышая свою квалификацию.

НАИВЫСШИЙ ПРИОРИТЕТ – БЕЗОПАСНОСТЬ ДАННЫХ

На клиентском портале ENGEL e-connect автоматически отображаются все литьевые

машины, имеющиеся в парке оборудования клиента и способные работать с интерфейсом sim link. С помощью хранилища данных sim link (sim link data store) можно легко получать доступ к сгенерированным наборам данных изделий и данным измерений.

Безопасность данных была в центре внимания при разработке интерфейса sim link. Конфиденциальные данные, такие как файлы САПР или информация о проектах моделирования, остаются в локальных системах пользователя и не передаются в системы ENGEL. Они не требуются для использования интерфейса sim link. Каждый раз через интерфейс передаются только необходимые параметры и настройки, обеспечивая при этом для пользователя полную и постоянную прослеживаемость трафика.

Обмен данными между программой моделирования и порталом e-connect осуществляется через локальную клиентскую программу sim link interface. После модификации или импорта производственных данных к ним добавляется дополнительная метаданная, в которой документируется, откуда поступили данные и какие при этом имели место граничные условия, такие как тип литьевой машины или диаметр шнека узла пластикации.

Предложение по первоначальной настройке, сгенерированное интерфейсом sim link, может быть передано в литьевую машину различными способами. Возможна передача данных по корпоративной сети, такой как собственные сетевой дисковый накопитель или СУП, а также через Интернет. Но это также можно сделать и с помощью USB-накопителя, если литьевая машина не подключена к сети.

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ДОРОГОСТОЯЩЕЙ ДОРАБОТКИ ЛИТЬЕВОЙ ФОРМЫ

Совместно с компаниями Oerlikon HRSflow и Borealis компания ENGEL провела обширные практические испытания интерфейса sim link. Среди прочего была запущена в производство семейная литьевая форма с 3 гнездами и каскадной горячеканальной системой (ГКС) с 8 сервоприводными игольчатыми запорными соплами. В отдельных гнездах этой формы одновременно изготавливались облицовка двери автомобиля, карман для карт и элемент жесткости. Материалом служил полипропилен (ПП) марки Dapleen EE001AI-9557, содержащий 7 % минерального наполнителя (производитель – компания Borealis) (см. фото у заголовка).

Каскадное подключение сопел ГКС понадобилось из-за того, что облицовка двери и карман для карт имели слишком большие соотношения между длиной пути течения расплава и толщиной стенки, чтобы можно было обойтись одним соплом для заполнения соответствующего гнезда.

На первом этапе необходимо было с помощью моделирования предварительно определить и оптимизировать параметры производства деталей в семейной форме. При этом основное внимание уделялось поддержанию постоянной скорости фронта потока расплава во всех трех гнездах, а также согласованию и оптимизации моментов открытия сопел ГКС.

Наиболее сложной задачей было согласование каскадного срабатывания сопел ГКС в соответствии с положением фронта потока расплава, что затруднялось из-за различных размеров гнезд.

Геометрическая имитационная модель, построенная в программе Moldflow компании Autodesk и используемая как для заполнения формы, так и для охлаждения отливок, включала в себя гнезда, горячие каналы, запорные сопла формы, а также сопло машины, в том числе часть предшнекового пространства материального цилиндра (рис. 2).

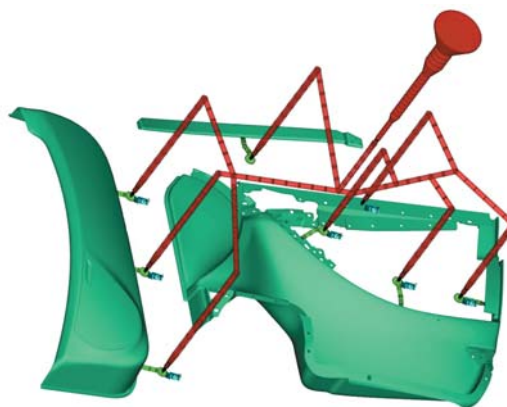


РИС. 2. Геометрическая модель гнезд литейной формы (бирюзового цвета) и ГКС (красного цвета), построенная в программе Moldflow

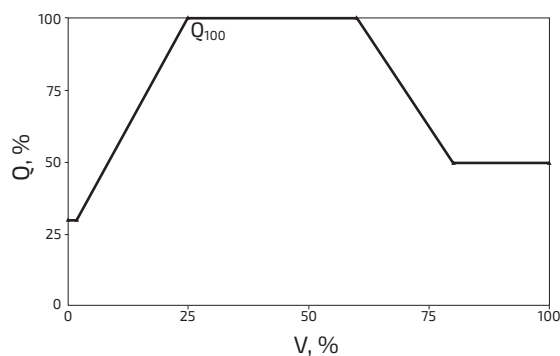


РИС. 3. Начальная модельная зависимость объемной скорости впрыска Q от степени заполнения V гнезд формы в относительных единицах измерения: Q_{100} – значение Q (100 %), при котором $V = 25\%$

Сначала было проведено независимое от машины и давления впрыска моделирование относительного, выраженного в процентах, профиля объемной скорости впрыска Q в зависимости от степени заполнения V гнезда расплавом (рис. 3). При этом моменты открытия отдельных сопел ГКС были определены таким образом, чтобы фронт потока в гнезде встречался с фронтом потока из соответствующего запорного сопла. Это можно было легко, всего лишь за несколько итераций, смоделировать, если не учитывать требуемое давление впрыска.

НЕПРЕРЫВНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Смоделированные независимо от литейной машины начальные настройки процесса впрыска были затем, с помощью функции модификации интерфейса sim link, скорректированы для выбранной машины ENGEL duo 12060/1700. Поскольку результат оказался вполне удовлетворительным и близким к реальности, с помощью функции экспорта интерфейса sim link был сгенерирован и передан в систему управления машиной CC300 набор данных изделия, включавший конкретные для выбранной литейной машины значения параметров впрыска. Дальнейшей задачей была

экспериментальная отработка смоделированного режима впрыска на литейной форме.

Моменты времени открытия сопел каскадной ГКС были введены вручную в контроллер фирмы HRS FLEXflow на основе значений, полученных в ходе моделирования. После запуска литейной машины реальная точка переключения впрыска на подпитку была установлена также в соответствии с результатами моделирования. При этом интерфейс sim link экспортирует в систему управления CC300 безопасные значения параметров, которые в случае отклонений свойств перерабатываемого материала или температуры в материальном цилиндре гарантируют отсутствие перелива в гнездах литейной формы.

В данном случае никаких дополнительных шагов по оптимизации режима литья не потребовалось для получения деталей требуемого качества.

Как уже упоминалось, важным условием моделирования процесса впрыска было открытие каждого дополнительного запорного сопла в тот момент, когда его достигает расплав, заполняющий соответствующее гнездо литейной формы, поскольку в этом случае сводится к минимуму вероятность образования такого типичного дефекта, как линии спая

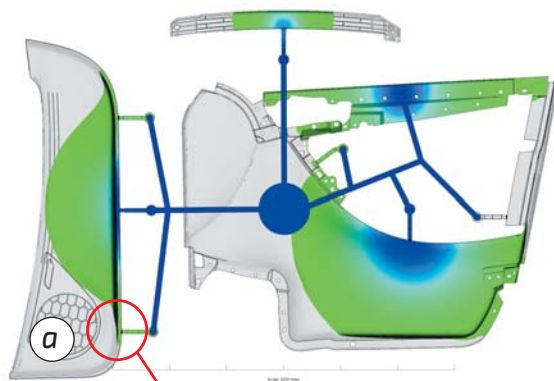
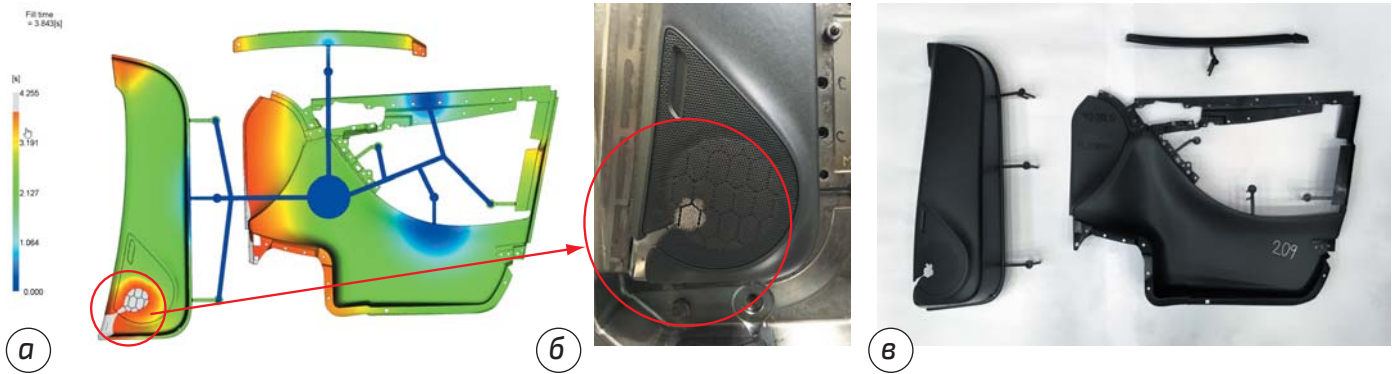


РИС. 4.
Графическая модель заполнения расплавом гнезд семейной формы (а) и оригиналы отливок (б) в момент достижения расплавом дополнительной точки впрыска (обведена окружностью красного цвета) каскадной ГКС (а); 2 – внешний вид семейной полужоппы с отливками в данный момент времени





в месте встречи потоков. О том, как хорошо соответствуют результаты моделирования реальному процессу, свидетельствуют данные, приведенные на рис. 4. Чтобы доказать это, процесс литья был искусственно, в исследовательских целях, прерван в рассчитанный по модели момент достижения расплавом дополнительного сопла в гнезде для кармана двери автомобиля (см. рис. 4, а, в). Наглядным подтверждением этому служила форма соответствующей «недолитой» отливки (см. рис. 4, б, г).

Тот же экспериментальный прием с прерыванием процесса литья был использован и для момента переключения с фазы впрыска, регулируемой по объемной скорости потока,

на фазу подпитки, регулируемую по давлению. Как видно из рис. 5, и в данном случае наблюдается хорошее соответствие модели оригиналу. Это подтверждается и графической моделью заполнения формы, представленной в виде распределения фронтов потоков расплава в гнездах семейной формы в момент переключения с впрыска на подпитку (рис. 6). Как видно из рис. 5 и 6, в этот момент остается не залитым лишь самый труднодоступный для расплава край кармана для карт (около 1 % от общего объема гнезда), причем форма этого недолива на модели практически такая же, как и у оригинала (отливки), что лишний раз доказывает адекватность модели.

РИС. 5.

Графическая модель заполнения расплавом гнезд семейной формы (а) и оригиналы отливок (в) в момент переключения впрыска на подпитку: б – увеличенный в масштабе край одной из отливок, иллюстрирующий хорошее соответствие тому же месту на модели (обведены окружностями красного цвета). Изменение цвета на графической модели соответствует изменению времени заполнения гнезд формы

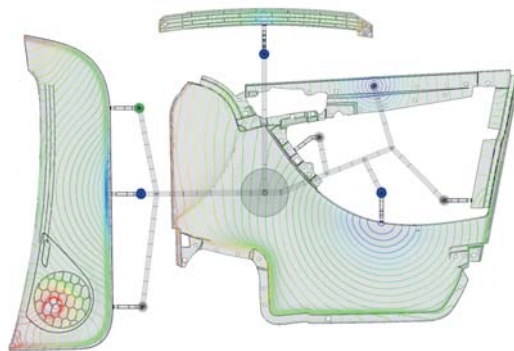
СПРАВКА № 2

Преимущества интерфейса sim link

1. Сочетание стадий проектирования и серийного производства в целях преодоления «барьера данных».
2. Последовательное повышение точности моделирования за счет обратной связи с производством.
3. Отсутствие необходимости в дополнительном программном или аппаратном обеспечении или выходе в Интернет для передачи данных.
4. Снижение трудоемкости и дополнительных расходов за счет уменьшения количества итераций при отработке литейной формы и технологической подготовке производства.
5. Повышение производительности литья под давлением.
6. Сокращение времени выхода новой продукции на рынок.

РИС. 6.

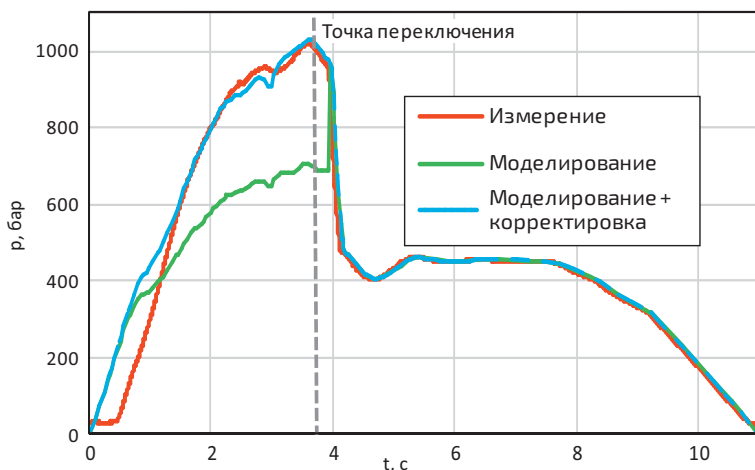
Графическая модель заполнения гнезд семейной формы, представленная в виде распределения фронтов потоков расплава в различные моменты времени от начала впрыска до переключения на подпитку



Однако при сравнении теоретического (смоделированного) и фактического профилей впрыска и подпитки оказалось, что модельное значение пикового давления P в момент переключения существенно меньше, чем в реальном процессе литья (рис. 7). Причина заключается в том, что в модели не было учтено изменение вязкости расплава в зависимости от давления впрыска и, соответственно, скорости сдвига. Эмпирическая корректировка модели позволила быстро улучшить соответствие между фактическим (измеренным)

РИС. 7.

Фактический (измеренный), смоделированный и скорректированный профили давления p впрыска (до точки переключения) и подпитки (после точки переключения) в зависимости от времени t



на машине) и смоделированным профилями давления впрыска (см. рис. 7).

ВЫВОДЫ

Интерфейс sim link, входящий теперь в программу ENGEL inject 4.0, служит для обмена данными между программой моделирования и литейной машиной, способствуя ускорению отработки и оптимизации режима литья под давлением, а также повышению производительности процесса.

Первый этап на этом пути осуществляется виртуально – на основе данных о перерабатываемом материале и реальных рабочих характеристиках машины. В результате еще до начала серийного производства можно проверить, действительно ли эта машина подходит для формирования нового изделия.

Второй этап заключается в передаче набора данных согласно смоделированным настройкам процесса из программы моделирования в систему управления литейной машиной.

На третьем этапе – уже в условиях серийного производства – оптимизированные настройки, параметры процесса и измеренные данные могут импортироваться от машины обратно в программу моделирования. Обратная связь с литейной машиной помогает повысить качество моделирования, чтобы избежать среди прочего дорогостоящих итераций по доработке литейной формы. Таким образом, моделирование становится инструментом для непрерывного анализа и оптимизации процесса литья.

Следует добавить, что возможности интерфейса sim link, впервые представленного на выставке «К-2019» и работавшего с программой моделирования Moldflow фирмы Autodesk, теперь расширены за счет программного обеспечения Cadmould от фирмы Simcon. В обобщенном виде преимущества интерфейса sim link приведены в справке № 2. ■

Combining the Processes of Simulation and Real Production of Parts by Injection Moulding

A. Angerer

The new sim link data interface aims to link simulation and real-world processes in order to provide plastics processing firms with even better support throughout the product lifecycle – from product development and mold configuration to ongoing production. The manufacture of automotive components in family molds clearly demonstrates how sim link speeds up the sampling of injection moulds and the optimization of injection moulding processes while raising productivity.