

В настоящее время многие водители уже не могут представить себе передвижение на автомобиле без поддержки систем-помощников, обеспечивающих повышенный уровень комфорта и надежности. То же касается и литьевого производства изделий из пластмасс и эластомеров, где внедрение «умных» систем поддержки выводит предприятие на новый технологический уровень. При этом для обеспечения качества продукции контролируются и управляются не только машинные, но и технологические параметры литья под давлением, что позволяет их автоматически корректировать непосредственно в процессе литья и активно предотвращать тем самым появление брака. Самооптимизирующиеся машины и процессы являются характерным признаком «умного» завода (smart factory).



Точность и воспроизводимость литья филигранных силиконовых линз для автомобильных фар поддерживаются системой-помощником iQ weight control из программы ENGEL inject 4.0

## «Умные» литьевые технологии производства изделий из эластомеров

Л. Праер, П. Капеллер, ENGEL Austria GmbH (г. Швертберг, Австрия)

Прецизионно точно работающие литьевые машины и надежные периферийные системы образуют основу производства высококачественных изделий из пластиков и эластомеров. Однако на протяжении длительного периода производства этого недостаточно для обеспечения постоянно высокого качества продукции от цикла к циклу, поскольку на ход (пусть и налаженного) процесса литья влияет много факторов. Так, например, одной из типичных причин брака являются колебания свойств исходного сырья, даже находящиеся в пределах допуска его изготовителя. При этом эти колебания могут наблюдаться не только от партии к партии, но и внутри одной партии. Особенно это касается тех компаундов, которые содержат большую долю натурального сырья. Следует добавить, что в отличие от термопластов составы многих резиновых смесей и силиконов не оптимизированы для их переработки литьем под давлением, и на них в большей степени влияют напряжения сдвига, возникающие в процессах пластикации и впрыска. Другими факторами влияния могут быть условия окружающей среды

или повышенный износ обратного клапана узла впрыска.

Все эти факторы в той или иной степени влияют на вязкость и текучесть расплавов, а тем самым и на объем впрыска. Если у материала выше текучесть, чем в «идеальных» условиях принятого режима литья, то он в меньшей степени сжимается в узле впрыска, сдвиговые напряжения в нем уменьшаются, а в оформляющие гнезда литьевой формы может быть впрыснуто избыточное количество расплава. Результат – образование грата или деформация готовых изделий. В другом, противоположном случае, когда у материала текучесть меньше требуемой, может наблюдаться недозаполнение литьевых гнезд и, как следствие, недолив у изделий. Наконец, от текучести расплава зависит поведение обратного клапана, что может оказать дополнительное влияние на объем впрыска.

### Прослеживаемость, поддержка, эффективность

Специалисты компании ENGEL много лет занимаются проблемой устранения влияния дестабилизирующих факторов на качество литьевой продукции, внедряя накоплен-

ные знания в управление процессом литья. При этом в центре внимания находится достижение трех главных целей, в числе которых:

- прослеживаемость – путем понятной оператору визуализации процесса в режиме реального времени с помощью информативных технологических параметров;
- поддержка процесса литья – за счет автоматической настройки заданных значений технологических параметров и последующей их дополнительной регулировки на протяжении всего производства;
- эффективность – благодаря повышению производительности процесса и воспроизводимости качества продукции, а также сокращению уровня брака.

Система-помощник iQ weight control, предназначенная для оптимизации процесса впрыска, стала первой, выведенной ENGEL на рынок. Она очень хорошо зарекомендовала себя при переработке не только термопластов, но и жидких силиконов (LSR). Этот программный продукт в качестве первичного информативного параметра отслеживает поведение давления в материальном цилиндре литье-

вой машины в зависимости от положения шнека.

Движение шнека на управляемой по скорости стадии впрыска и заполнения формы расплавом характеризуют три задаваемые величины: начальная позиция шнека, профиль скорости впрыска и точка переключения на подпитку. Исходя из этих параметров система управления машиной самостоятельно рассчитывает требуемые данные для системы регулирования впрыска. При этом поведение давления впрыска определяется такими параметрами, как скорость подачи расплава, количество расплава в предшнековом пространстве, текучесть материала и гидравлическое сопротивление его течению. Таким образом, поведение (иначе – профиль) давления во время впрыска является так называемой многопараметровой (зависящей от многих параметров) характеристикой, присущей только конкретному циклу литья и потому неповторимой. Встречающиеся на практике колебания одного или нескольких факторов влияния изменяют профиль давления, который может служить объективным косвенным критерием для контроля воспроизводимости процесса.

### Переключение на постоянное качество

Применение программного продукта iQ weight control не представляет никаких сложностей. Сна-

чала пользователь оптимизирует, как обычно, процесс в целях достижения требуемого качества литьевой продукции. Затем нажатием клавиши на пульте управления он запускает процесс эталонирования и сохраняет в памяти системы управления текущее состояние процесса как заданную величину. Процесс эталонирования охватывает как минимум 20 циклов литья, и если программное обеспечение устанавливает, что процесс еще не установился, эталонирование автоматически повторяется. С учетом

регистрируемого рассеивания параметров литья программное обеспечение автоматически предлагает границы допустимых колебаний, которые оператор может либо принять, либо вручную скорректировать (рис. 1).

Так как в ходе производства анализ параметров литья происходит непосредственно во время впрыска, то при отклонениях их заданных значений система iQ weight control предоставляет возможность заблаговременной, еще до момента появления брака, корректиров-



Рис. 1. «Умная» система-помощник iQ weight control, предлагаемая как для электрических, так и для гидравлических литьевых машин, как для литья термопластов, так и эластомеров, компенсирует колебания условий технологического процесса еще до того, как они приведут к появлению дефектной продукции: зеленые точки на рисунке показывают изменение массы деталей от цикла к циклу при наличии системы iQ weight control, красные – при ее отсутствии (все иллюстрации: ENGEL)

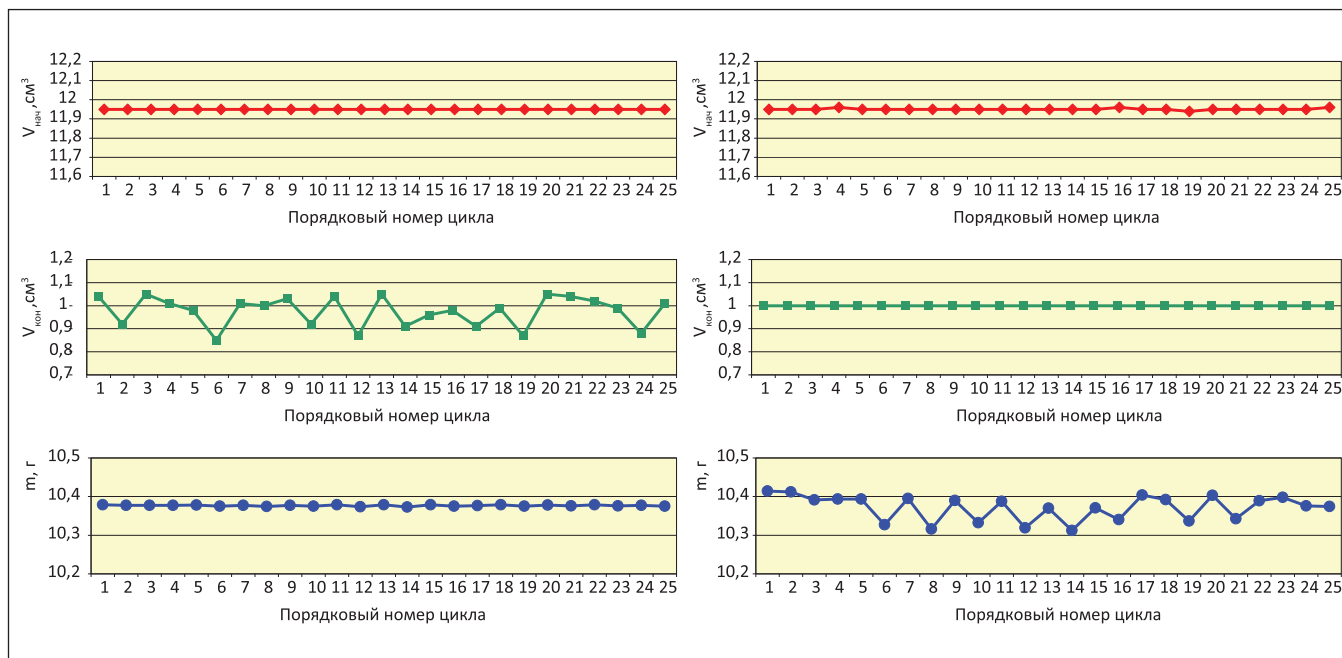


Рис. 2. Результаты экспериментов по литью под давлением деталей из LSR с системой iQ weight control (слева) и без системы (справа): за счет индивидуальной корректировки точки переключения (соответствует конечной позиции шнека) достигается высокая воспроизводимость массы деталей  $m$  от цикла к циклу ( $V_{нач}$  и  $V_{кон}$  – объем расплава, соответствующий начальной и конечной позициям шнека при впрыске)

ки процесса. В этих целях системой управления машиной для каждого цикла задаются индивидуальные профиль впрыска, точка переключения на подпитку, а также моменты открытия и закрытия запорных сопел литьевой формы. Таким образом, объем впрыска остается постоянным на протяжении всего хода производства. Благодаря автоматической корректировке стадии подпитки, система-помощник iQ weight control даже после окончания стадии заполнения оформляющего гнезда обеспечивает компенсацию усадки отливки независимо от изменения вязкости расплава.

Возможности и принцип действия системы-помощника iQ weight control были продемонстрированы в техническом исследовательском центре ENGEL на примере детали из LRS твердостью 50 ед. по Шору, отливаемой на полностью электрической машине e-motion 310/100. Интегрированные в приводную систему датчики пути обеспечивали очень высокую воспроизводимость и точность позиционирования шнека – до  $\pm 10$  мкм в его начальной позиции и до  $\pm 3$  мкм в конечной. С учетом этих значений и диаметра шнека, равного 30 мм, расчетное максимальное колебание объема впрыска составляет  $0,018 \text{ см}^3$ , что соответствует колебанию массы детали

из LSR  $0,019 \text{ г}$ . Тем не менее оказалось, что без использования системы iQ weight control фактическое измеренное отклонение массы деталей составило  $0,102 \text{ г}$ , что можно объяснить в пять раз более высокими отклонениями позиций шнека. С использованием же системы iQ weight control колебания массы впрыска и, соответственно, готовых деталей находились в пределах всего лишь  $0,008 \text{ г}$  (рис. 2).

### Оптимальное усилие смыкания сберегает форму и ресурсы

В то время как система iQ weight control оказывает поддержку переработчику в целях оптимизации процесса впрыска, программный продукт iQ clamp control отвечает за надлежащее закрытие формы. Главным информативным параметром здесь служит «дыхание» литьевой формы (рис. 3). При этом даже минимальные деформации полужформ – на уровне сотых и даже тысячных долей миллиметра – могут привести к браку, если они превышают допустимые границы. Например, слишком малое «дыхание» формы из-за слишком большого усилия смыкания может воспрепятствовать надлежащему ее вентилированию и вызвать пригары на литьевых изделиях. И напротив, при слишком большом «дыхании» фор-

мы из-за малого усилия смыкания возможны переливы оформляющих гнезд с образованием грата.

Долгое время оптимизацию усилия смыкания можно было проводить только вручную. Используемые для этого методы и средства измерения давали субъективные результаты и требовали большого опыта. По этой причине многие переработчики применяют до сих пор при литье в основном максимально допустимые усилия смыкания, что повышает, однако, не только вероятность брака, но и износ формы, а также потребление энергии. Для решения именно этой проблемы предназначена система-помощник iQ clamp control, которая устанавливает оптимальное усилие смыкания на основе «дыхания» формы и может корректировать и поддерживать его непосредственно в текущем процессе литья (рис. 3). Исходным значением для расчетов «дыхания» формы является ее высота  $H$  в закрытом без усилия смыкания состоянии (см. рис. 3, а). При создании усилия смыкания форма сжимается на величину деформации сжатия  $\Delta H_{сж}$  с одновременным уменьшением объема оформляющей полости (см. рис. 3, б). При впрыске происходит некоторое увеличение объема полости под действием давления впрыскиваемого в нее расплава полимерного матери-

ала. В результате деформация сжатия формы частично восстанавливается на величину «дыхания» формы  $\Delta H_{\text{дых}}$  (см. рис. 3, в). Для измерения значения  $\Delta H_{\text{дых}}$  программа iQ clamp control использует информацию от имеющихся в литейной машине стандартных сенсоров. Благодаря этому для автоматической

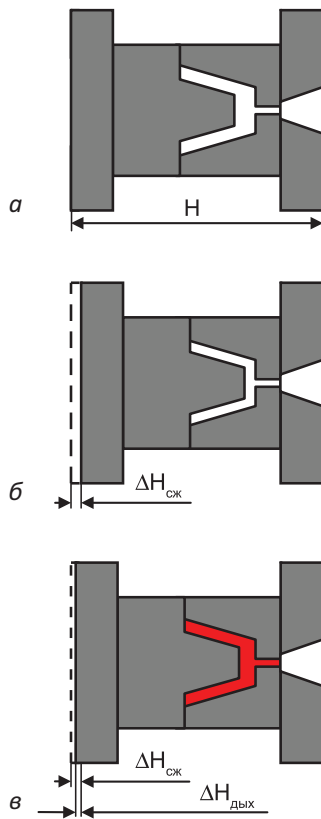


Рис. 3. Схема определения параметров «дыхания» формы: а, б и в – высота закрытой формы соответственно до создания усилия смыкания, после создания и при впрыске расплава (пояснения – в тексте статьи)

оптимизации усилия смыкания не требуются ни дополнительные датчики, ни какая-либо дополнительная аппаратура.

Наряду с системой iQ weight control программный продукт iQ clamp control вносит свой вклад в обеспечение более высокой управляемости процесса и воспроизводимого качества литейной продукции, а также способствует уменьшению износа формы и энергопотребления (рис. 4). В настоящее время накоплен достаточно большой успешный опыт применения системы iQ clamp control на термопластавтоматах. Характерной особенностью переработки жидких силиконов является быстрое нарастание давления внутри формы после впрыска, поэтому возможность целенаправлен-

ного регулирования усилия смыкания в данном секторе литья должна иметь высокий потенциал использования. Предстоящие эксперименты должны теперь это подтвердить.

### Динамически регулируемое многоконтурное термостатирование литевых форм

Самый «юный» программный продукт из серии iQ – iQ flow control, предназначенный для оптимизации термостатирования литевых форм, – давно и успешно зарекомендовал себя при литье под давлением термопластов и находится на стадии внедрения в сектор переработки эластомеров.

Отклонения в режиме термостатирования литевых форм яв-

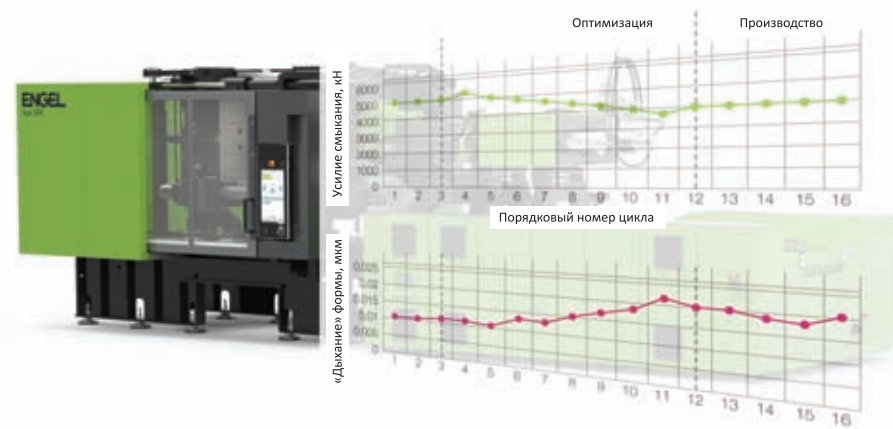


Рис. 4. На основе результатов оценки «дыхания» литейной формы (нижний график) программа iQ clamp control определяет оптимальное усилие смыкания и автоматически оптимизирует его от цикла к циклу (верхний график)



ляются одной из наиболее частых причин возникновения брака. Именно поэтому специалисты ENGEL всегда уделяли этому вопросу повышенное внимание. В результате еще в 2010 г. был разработан электронный распределитель охлаждающей воды flo-to, который стал основой прослеживаемости и постоянства режима термостатирования литьевых форм. Уже в своей базовой версии этот прибор может по отдельности контролировать все контуры охлаждения с последующим документированием результатов контроля. Его дальнейшая версия, названная e-flo-to и поддерживаемая системой iQ flow control, позволяет не только контролировать, но и с высокой точностью выборочно регулировать расход или перепад температуры ( $\Delta T$ ) охлаждающей воды во всех отдельных контурах термостатирования формы. Преимущество регулирования по параметру  $\Delta T$  (перепад между температурами воды на входе в литьевую форму и выходе из нее) состоит в том, что программное обеспечение iQ flow control рассчитывает с учетом этого параметра необходимый расход воды для каждого контура и автоматически регулирует его. Более того, эта система-помощник объединяет литьевую машину и распределитель e-flo-to в одно целое и управляет числом оборотов насосов в термостатах в зависимости от фактической потребности, обеспечивая тем самым не

### Industry 4.0 для более высокой конкурентоспособности



Сетевое объединение производственных систем и систематическое использование машинных, технологических и производственных данных при поддержке программных систем-помощников не только повышают эффективность работы «умных» заводов и качество выпускаемой ими продукции, но и позволяют переработчикам более оперативно и гибко реагировать на все быстрее изменяющиеся требования со стороны заказчиков. Концепция Industry 4.0 и цифровые технологии становятся неотъемлемой частью производственной и других сфер жизни. В своей программе inject 4.0, представляющей совокупность технических решений для «умного» завода, занятого литьевым производством, компания ENGEL уделяет внимание развитию трех основных направлений:

только стабильность термостатирования формы, но и значительно более высокую энергоэффективность этого процесса.

- «умное» оборудование (включает программы-помощники iQ weight control, iQ clamp control und iQ flow control и предназначено для повышения стабильности процессов литья под давлением и качества продукции);
- «умное» обслуживание (предназначено для дистанционной круглосуточной поддержки переработчиков в целях предупредительного, основанного на анализе текущего состояния оборудования поддержания нормального хода производства);
- «умное» производство (предназначено для повышения производительности и гибкости процессов литья, а также коэффициента использования оборудования за счет сетевого объединения и интеграции машин, периферийных устройств, роботов и датчиков).

Для нового интегрированного решения по термостатированию форм компания ENGEL совместно со своим партнером – фирмой HB-Therm – разработала серию особенно компактных термо-

статов e-temp, а их сетевое объединение с литьевыми машинами на базе платформы OPC UA стало очередным шагом на пути к «умному» заводу (рис. 5). В более широком смысле коммуникационная модель OPC UA делает возможным универсальное, высокопроизводительное и прежде всего надежное «взаимопонимание» производственных подсистем как в пределах цеха, так и на уровне вышестоящих систем управления. В индустрии пластмасс и каучуков такой подход к организации производства в рамках концепции Industry 4.0 приходит на смену традиционным методам управления не только технологическими процессами, но и предприятия в целом.

### Smart Technologies for Elastomers Injecton Moulding

L. Praher, P. Kapeller

The developed by ENGEL assistant systems – iQ weight control, iQ clamp control and iQ flow control – are significant steps on the way to the smart factory. The article deals with operative principles and advantages of these software products are discussed. ■

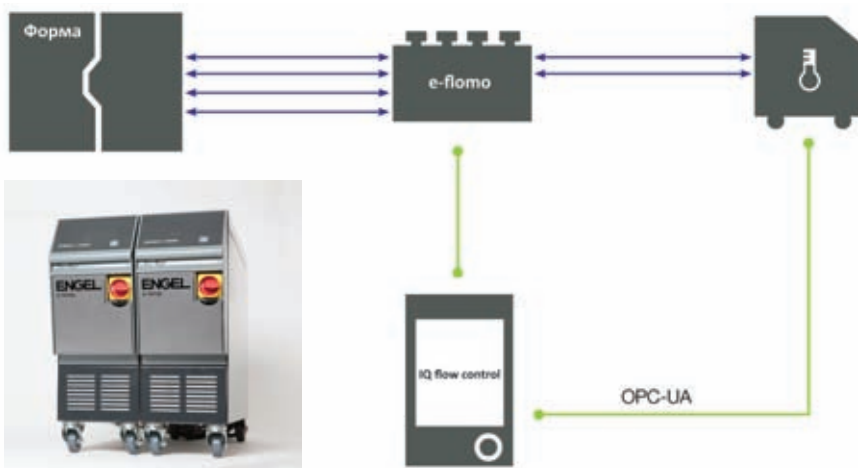


Рис. 5. Интеграция термостатов e-temp и распределителя e-flo-to в систему управления CC300 литьевой машиной на базе коммуникационной платформы OPC UA и при поддержке программного продукта iQ flow control автоматически обеспечивает требуемый режим термостатирования формы, снижает энергопотребление и является фактически очередным шагом на пути к «умному» заводу