

Самоадаптирующиеся децентрализованные системы повышают эффективность технологических процессов и качество литьевой продукции из полимерных материалов. Они являются важной частью «интеллектуального» предприятия, которое, в свою очередь, является центральным звеном программы inject 4.0, разработанной компанией ENGEL. На выставке Fakuma-2015 компания продемонстрировала новую программу iQ clamp control, которая обеспечивает возможность автоматического определения и настройки оптимального усилия смыкания для конкретной литьевой формы на основе анализа ее «дыхания» непосредственно в процессе литья под давлением.



«Дыхательные упражнения» для оптимизации усилия смыкания в процессе литья под давлением

Г. Пиллвайн, д-р, Й. Гиссауф, Г. Штайнбихлер, д-р, ENGEL Austria GmbH (г. Швертберг, Австрия)

Программа iQ clamp control является второй разработкой из серии программных продуктов iQ. Ей предшествовала программа iQ weight control, представленная на выставке Fakuma-2012 [1]. В то время реализация возможностей корректировки точки переключения процесса литья под давлением на подпитку и регулирования параметров процесса впрыска в режиме реального времени системой управления литьевой машиной, обеспечивающей тем самым автоматическую компенсацию колебаний свойств перерабатываемого полимерного материала и условий окружающей среды, стала настоящей революцией (о принципах управления процессом литья с помощью программы iQ weight control см. в ПМ № 9, 2015, с. 5–6. – Прим. ред.). Успешное применение программы iQ weight control более чем на 600 литьевых машинах с электрическими узлами впрыска обеспечило ей заслуженное признание на рынке [2, 3]. Накопленные при этом практические результаты были применены для ее дальнейшего совершенствования. Новое поколение этой программы наряду с корректировкой момента переключения и регулированием режима процесса впрыска обеспечивает автоматическое и целенаправленное изменение давления подпитки на работающей машине.

Что такое «iQ»

С самого начала программа iQ weight control рассматривалась как краеугольный камень для последующей разработки целой серии программных продуктов. Аббревиатура «iQ» расширяется как «интеллек-

туальное качество» и предусматривает интегрирование знаний экспертов в систему управления литьевой машины в целях улучшения хода технологических процессов и повышения качества выпускаемой продукции.

Программные продукты серии iQ оказывают реальную помощь пользователям за счет, по меньшей мере, одного из трех факторов:

- прозрачности технологического процесса, заключающейся в понятной для оператора визуализации его состояния с помощью информативных параметров и наглядного представления;
- ассистирования, позволяющего уменьшить нагрузку на персонал, например, путем автоматизированной настройки заданных параметров процесса;
- эффективности процесса, заключающейся в повышении его производительности и улучшении воспроизводимости свойств литьевых изделий, а также уменьшении количества дефектных изделий, в частности, за счет автоматической корректировки параметров технологического процесса в режиме реального времени.

Расширение серии программных продуктов iQ

Посетители симпозиума компании ENGEL в 2015 г. получили возможность заранее познакомиться с новым представителем расширяющейся серии iQ – программой iQ clamp control [4]. На выставке Fakuma-2015 этот программный продукт был впервые представлен широкой общественности.

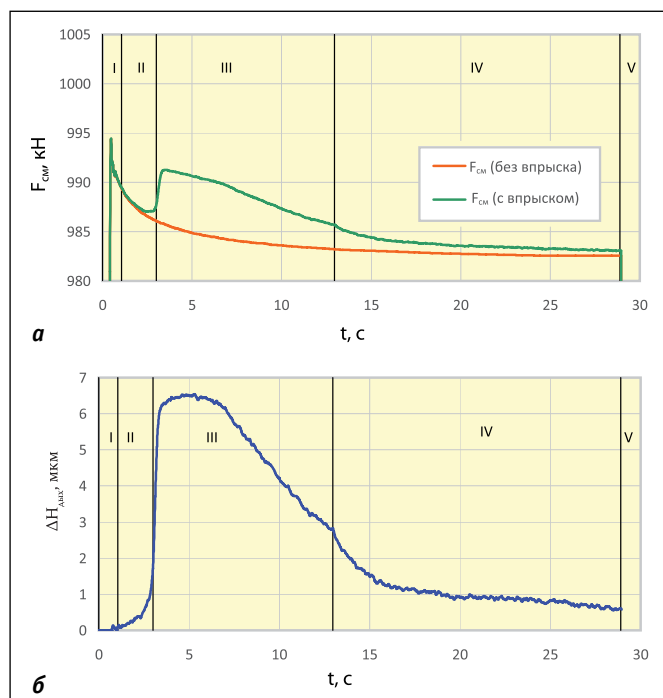


Рис. 1. Зависимости усилия смыкания $F_{см}$ (а) и «дыхания» формы $\Delta H_{дых}$ (б) от времени t на различных стадиях цикла литья. При впрыске за счет увеличения давления расплава внутри формы усилие смыкания увеличивается на несколько килоньютон по сравнению с аналогичными условиями работы без впрыска. Эти различия в изменениях усилия смыкания на протяжении всего цикла литья под давлением можно пересчитать в параметры «дыхания» формы, используя простые математические выражения для жесткости пружины. Ошибка при этом не превышает нескольких десятых долей микрометра (иллюстрации в статье: ENGEL): I – закрывание формы; II – впрыск; III – подпитка; IV – остаточное охлаждение; V – открывание формы

В отличие от iQ weight control при разработке программы iQ clamp control внимание ее создателей было сконцентрировано на узле смыкания литейной машины. Если выразиться упрощенно, программа iQ clamp control обеспечивает выполнение следующих функций:

- расчет, индикацию и контроль «дыхания» формы;
- автоматическую оптимизацию усилия смыкания;
- регулирование пиковых значений деформации формы при ее «дыхании» за счет корректировки усилия смыкания при изменении условий протекания технологического процесса.

Получение новых данных о протекании технологического процесса без дополнительных устройств

Во время процесса впрыска обе части литейной формы под воздействием расширяющегося расплава раздвигаются на несколько сотых или даже тысячных долей миллиметра. Это явление называют «дыханием» формы (см. вставку в статье).

Инженеры компании ENGEL нашли способ рассчитывать в ходе технологического процесса параметры такого «дыхания» формы с помощью имеющихся на литейной машине датчиков. При этом вся система смыкания, включая литейную форму, рассматривается

как некая пружина, а жесткость этой пружины определяется во время нарастания усилия смыкания.

При впрыске степень сжатия этой «пружины» за счет «дыхания» формы незначительно увеличивается; при этом усилие смыкания становится несколько выше заранее установленного заданного значения. Величину этого повышения усилия смыкания можно определить с достаточно высокой точностью. Для определения и сохранения эталонного значения усилия смыкания в начале цикла литья предварительно выполняются несколько сухих циклов. При последующей работе со впрыском текущие значения усилия смыкания сопоставляются с соответствующими значениями эталонных циклов, после чего полученная разница между усилиями смыкания с использованием известных математических выражений для жесткости пружины пересчитывается в параметры «дыхания» формы (рис. 1).

Таким образом, без применения дополнительного оборудования появляется новый информативный сигнал, который поступает непосредственно в систему управления машиной. Поскольку «дыхание» формы обуславливается действующим внутри оформляющего гнезда давлением, то закон его («дыхания») изменения оказывается очень похож на закон изменения давления в форме, определяемого через проекционную площадь поверхности отливки (рис. 2). Это создает для специалистов по литью под давлением благоприятные возможности для анализа, оптимизации и контроля литейного процесса. С помощью существующего программного пакета системы управления ENGEL CC300 теперь можно либо отслеживать изменение во времени деформации формы в результате «дыхания», используя огибающую кривую, либо регистрировать пиковые значения этой деформации посредством соответствующих предупредительных границ или границ вмешательства. Все это позволяет



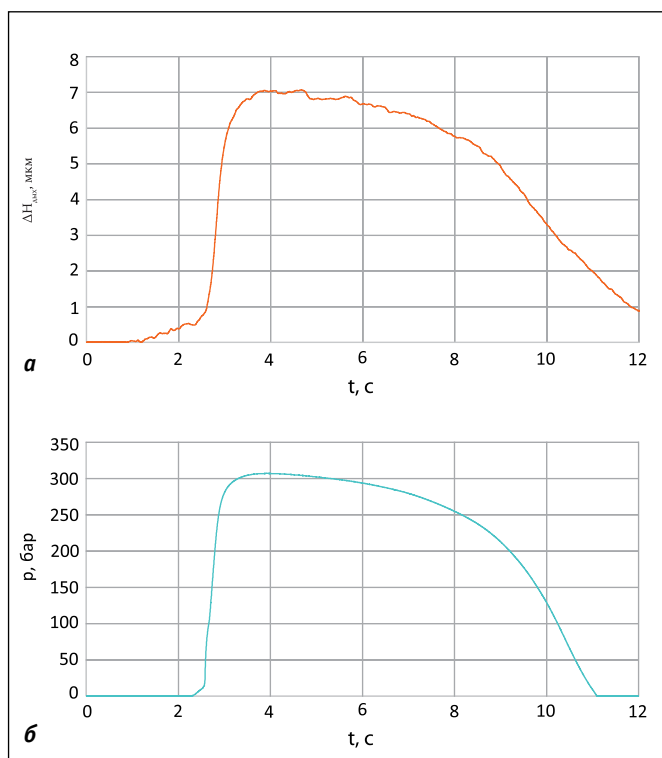


Рис. 2. Зависимости «дыхания» формы $\Delta H_{\text{дых}}$ (а) и давления p внутри формы (б) от времени t впрыска. Обе зависимости имеют очень похожий характер, так как «дыхание» формы обуславливается увеличением давления внутри нее

существенно уменьшить вероятность ухудшения качества продукции, в частности, вследствие перелива и образования грата.

Автоматическая оптимизация усилия смыкания

Вплоть до настоящего времени оптимизация усилия смыкания – если она вообще имеет место – осуществляется путем наблюдения за «дыханием» формы с помощью установленного в плоскости разреза формы микрометра. При этом необходимо обратить внимание на то, что результат измерения в значительной степени зависит от местоположения микрометра на литевой форме и типа формы. К этому следует добавить, что каждый наладчик по-разному интерпретирует результаты измерений на основе своего персонального опыта. Если один рассматривает величину деформации при «дыхании» на уровне 0,03 мм вполне допустимой, то другой может посчитать слишком высоким и значение, равное 0,01 мм. Таким образом, результат является весьма субъективным и потому, зачастую, переработчики просто-напросто работают с максимально возможным усилием смыкания. Однако это может сопровождаться недостаточно эффективным удалением воздуха из литевой формы, повышенным ее износом и необоснованно чрезмерным потреблением энергии.

Основанная на использовании результатов измерения параметров «дыхания» литевой формы программа iQ clamp control предоставляет объективный способ автоматического определения требуемого усилия смыкания в пределах устанавливаемых оператором границ и без дополнительно задаваемых показателей.

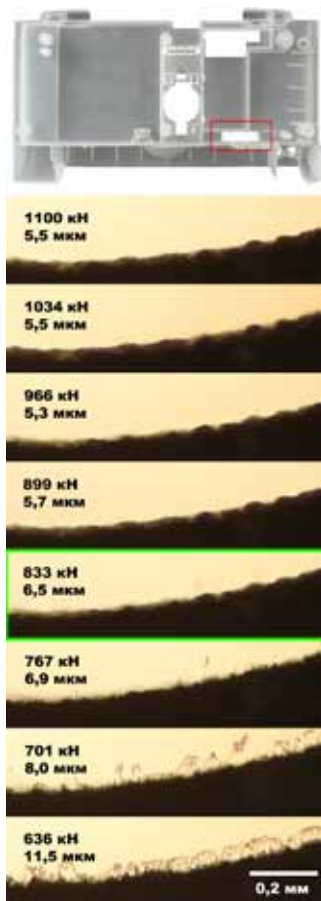


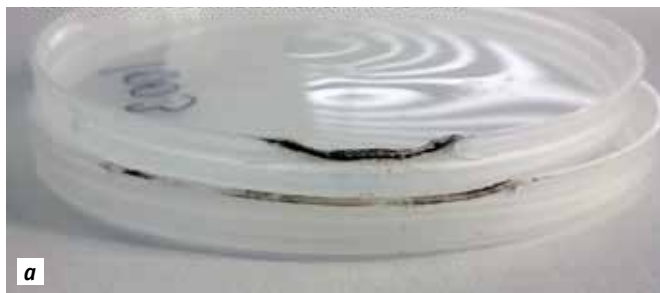
Рис. 3. Образование грата было изучено в области маркированного проема корпуса медицинского прибора (находится внутри красного прямоугольника на верхнем рисунке), изготавливаемого литьем под давлением при различных усилиях смыкания $F_{\text{см}}$. На снимках, сделанных с помощью микроскопа в проходящем свете, кроме значений $F_{\text{см}}$, приведены также соответствующие пиковые значения «дыхания» формы. Оптимизированное с помощью программы iQ clamp control усилие смыкания составило 830 кН, ниже которого появляется тончайший слой грата

Оптимизация может быть запущена в ходе технологического процесса. После простого нажатия на кнопку машина через несколько циклов автоматически изменяет заданное значение усилия смыкания и регистрирует изменения пикового значения «дыхания» формы. С применением введенного алгоритма и на основе получаемых данных автоматически определяется требуемое усилие смыкания с исключением возможности появления в какие-то моменты времени критических значений усилия смыкания или «дыхания» формы (рис. 3). В результате оператор и технологический процесс приобретают ряд преимуществ:

- понимание реально требуемого усилия смыкания при фактических условиях технологического процесса;
- обеспечение максимально щадящих условий работы машины и формы;
- улучшение удаления воздуха из формы (см. фото);
- снижение энергопотребления.

В результате колебания параметров технологического процесса и выполняемых оператором корректировок в ходе этого процесса изменяются и параметры «дыхания» формы. Программа iQ clamp control запоминает пиковое значение деформации формы из-за «дыхания», достигнутое после оптимизации усилия смыкания, и автоматически устанавливает соответствующие допуски. Если деформация формы выходит за допустимые пределы, то во время следующих циклов литья под давлением усилие смыкания автоматически корректируется до тех пор, пока деформация не вернется в допустимые рамки.

Точно так же оператор может вручную установить желаемую величину деформации формы из-за «дыха-



При максимальном усилии смыкания $F_{\text{см}}$, равном 1100 кН, удаление воздуха из формы оказывается недостаточно эффективным, следствием чего становятся отчетливо выраженные пригары у полипропиленовой крышки в конце зоны течения расплава (а). С помощью программы iQ clamp control усилие смыкания автоматически снижается примерно до 740 кН, в результате чего улучшается удаление воздуха и предотвращается образование пригаров (б)

ния», которая обеспечивается машиной при сохранении усилия смыкания в предварительно заданных границах за счет автоматической корректировки усилия смыкания. Такой подход может оказаться полезным, например, для целенаправленного регулирования свойств изготавливаемых изделий или дальнейшего улучшения эффективности удаления воздуха из формы.

Заключение

Программа iQ clamp control соответствует всем трем критериям программных продуктов серии iQ. Она позволяет благодаря использованию высокоинформативных параметров процесса «дыхания» формы повысить прозрачность технологического процесса, оказывает существенную помощь оператору за счет автоматического определения усилия смыкания и способствует повышению эффективности производственного процесса, поддерживая на постоянном уровне «дыхание» формы при изменяющихся условиях процесса путем автоматической корректировки усилия смыкания. Программа iQ clamp control на первом этапе предлагается для литьевых машин компании ENGEL с электриче-

скими узлами смыкания и с усилиями смыкания до 2200 кН.

Литература

1. Pillwein G., Giessauf J., Steinbichler G. Einfaches Umschalten auf konstante Qualitaet // *Kunststoffe*. 2012. Nr. 9, S. 31–35.
2. Umschalten auf konstante Qualitaet // *K-Zeitung*. Ausgabe K-Praxis. 2014. Bd. IV. S. 2.
3. Qualitaet und Ersparnis stehen im Vordergrund // *Plastverarbeiter*. 2014. Nr. 2. S. 20.
4. Doriât C. Prozesse werden sicher – und selbstaendig // *Kunststoffe*. 2015. Nr. 07. S. 16–17.

Перевод А. П. Сергеевкова

«Breathing Exercises» for Optimization of Clamping Force in the Injection Moulding Process

G. Pillwein, J. Giessauf, G. Steinbichler

Self adapting, decentralized systems improve process capability and product quality and are an important component in the smart factory, which is the focus of Engel's «inject 4.0» program. In the form of «iQ clamp control», injection moulding machine manufacturer Engel is presenting a new software tool at Fakuma 2015 that automatically determines the optimum clamping force for each mould based on mold breathing.