

*Чтобы получить блестящую поверхность изделия или идеально повторяющиеся микро- и наноструктуры, на этапе заполнения пресс-формы требуется высокая температура в области контакта материала и пресс-формы. Однако это неоправдано с экономической точки зрения, так как именно низкая температура пресс-формы повышает эффективность охлаждения детали. Вариотермический контроль процесса литья позволяет решить обе задачи*



Фото ENGEL Austria

# Больше блеска, меньше стыков

Джеральд Р. БЕРГЕР, дипл. инж., доктор, руководитель проектов на кафедре литья полимеров под давлением университета Montanuniversitaet Leoben, Сюзанна РУК, дипл. инж., компания В. Браун, Георг ШТАЙНБИХЛЕР, дипл. инж., профессор, глава отдела исследований и разработки технологий ENGEL Austria GmbH, председатель Института технологий литья полимеров и автоматизации производства в Университете Иоганна Кеплера, Йозеф ГИССАУФ, дипл. инж., глава отдела разработки технологических процессов ENGEL Austria GmbH, Дитер П. ГРУБЕР, дипл. инж., доктор, старший исследователь и руководитель проектов в Центре полимерных технологий, Вальтер ФРИЗЕНБИХЛЕР, дипл. инж., профессор, доктор горнометаллургических наук, заведующий кафедрой литья полимеров под давлением университета Montanuniversitaet Leoben

## Задача эксперимента

Если в процессе заполнения гнезда пресс-формы происходит разделение потока расплава, то говорят о возникновении обструкции. За точкой, в которой возникла обструкция, потоки пытаются вновь соединиться, однако низкая температура поверхности пресс-формы и низкое давление расплава усложняют этот процесс. Таким образом, около стенок гнезда пресс-формы появляются вдавленные линии соединения. Даже если эти вдавленности очень небольшие, их круто уходящие вглубь боковые поверхности отчетливо видны, в особенности на черных и блестящих поверхностях под черный «рояльный» лак. Общеизвестно, что за счет повышения температуры поверхности гнезда в процессе литья под давлением можно уменьшить образование этих линий. Целью совместного научного проекта, организованного компанией ENGEL Austria GmbH, занимающейся производством ТПА, было подтверждение этого эффекта и устранение линий соединения за счет соответствующего управления технологическим процессом.

Было исследовано влияние динамического контроля температуры пресс-формы на качество поверхности деталей из аморфных поликарбонатных смесей и полукристаллических марок полипропилена, различающихся содержанием наполнителей и модификацией (табл. 1). Глянцевость поверхности во многом зависит от ее шероховатости, и поэтому исследователи были максимально заинтересованы в том, чтобы поверхность

детали в точности повторяла поверхность пресс-формы.

В процессе вариотермического нагревания нагреву подвергается либо вся пресс-форма в целом, либо вкладыш пресс-формы, либо только поверхность гнезда пресс-формы. Среди распространенных способов нагрева можно назвать использование горячего пара или газа, индуктивный, инфракрасный или лазерный нагрев, контроль температуры вблизи контура за счет попеременного использования горячей и холодной жидкости, кассетные электронагреватели и передачу тепла между вкладышем пресс-формы и нагреваемым блоком посредством теплопроводности.

В рамках данного исследования вкладыш гнезда пресс-формы нагревался с помощью инфракрасного излучения. Температура вкладыша повышалась по отношению к нормальной температуре пресс-формы на величину от 40°C для ПП и 90°C для ПК/АБС и ПК/АСА до 120°C для ПП и 170°C для ПК-смесей. В качестве средней объемной скорости впрыска было выбрано значение 43,3 см<sup>3</sup>/с. Кроме того, проводились дополнительные тесты на ПК/АБС со скоростью впрыска 33,3 и 53,3 см<sup>3</sup>/с.

## Нагрев и впрыск параллельно циклу

Линии соединения и шероховатость поверхности анализировались на примере детали размером приблизительно 80×80 мм (рис. 1). В задней части детали присутствуют ребра жесткости и изменения в толщине стенок, а также круговые и прямоугольные отверстия, однако видимая часть детали

гладкая. Гнездо заполняется с помощью горячеканальной системы и короткого туннельного литника, расположенного под деталью.

Детали производились с помощью нового процесса, разработанного и запатентованного компанией ENGEL Austria, в рамках которого применяется вариотермическая литьевая пресс-форма (рис. 2) с двумя идентичными гнездами. Это позволяет производить нагрев и впрыск параллельно протеканию цикла литья. В то время как гнездо в нижней позиции заполняется, вкладыш второго гнезда, находящийся в верхней позиции, подвергается предварительному нагреванию с помощью источника инфракрасного излучения, расположенного позади вкладыша. Затем нижний вкладыш охлаждается, и при открытии пресс-формы индексная плита поворачивается таким образом, что предварительно нагретый вкладыш перемещается в нижнюю позицию для заполнения, а готовая деталь перемещается в верхнюю позицию и удаляется.

За счет малой массы вкладыша и использования покрытий, поглощающих инфракрасное излучение, удалось достигнуть скорости нагрева до 13 К/с. После того как нагретый вкладыш помещается в нижнюю позицию, его задняя часть соприкасается с холодной пресс-формой (20°C), что создает большой градиент температуры, который, помимо значительного улучшения качества поверхности детали, сокращает длительность цикла по сравнению с традиционными методами с разницей температур частей пресс-формы [2].

### Моделирование человеческого восприятия

Когда мы смотрим на какую-либо поверхность, отраженный свет, попадая в наши глаза, создает ощущение цвета и градации контраста. В соответствии с особенностями человеческого восприятия контраста дефекты поверхности нарушают это восприятие, в отличие от однородных поверхностей. Визуальное восприятие дефектов может быть определено с помощью нового запатентованного метода [3]. Полученные результаты оказываются чрезвычайно близки к реальному восприятию человека и позволяют производить быстрое и объективное тестирование деталей непосредственно на производстве.

Для проведения измерений детали были закреплены в держателе, а затем с помощью ПЗС-камер сделаны фотометрические снимки. Обработка изображений с использованием математических моделей позволяет

Марка	Оптические свойства	Наполнители	Модификации
ПК/АБС Bayblend T80XG	черный	нет	нет
ПК/АБС Bayblend W85XF	черный	нет	нет
ПП Daplen EE188HP	черный	15-процентный тальк	эластомеры
ПП Daplen EE065AI	матовый	нет	эластомеры
ПП Borclear RJ370MO	прозрачный	нет	нуклеированный, с облегченной выемкой
ПП Borclear RF366MO	прозрачный	нет	нуклеированный, антистатический

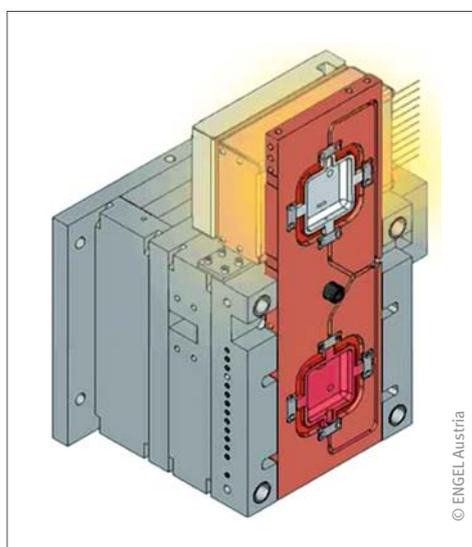
оценивать линии соединения, не используя соответствующее оборудование. Таким образом, рассчитанные матрицы интенсивности содержат информацию о пороговых значениях восприятия линий соединения.

Данное исследование основано на использовании методики относительной оценки контраста, аналогичной механизму восприятия человеческим глазом. Анализ идеальной поверхности не выявляет нарушений. Однако анализ света, отраженного от видимых структур менее качественной по-

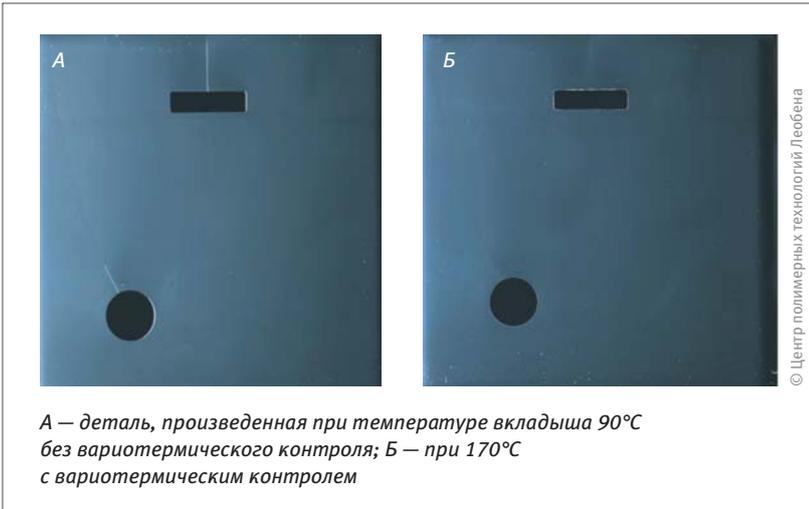
**Таблица 1. Исходные параметры ПК-смесей и полукристаллических марок ПП, участвовавших в исследовании**



**Рисунок 1. Деталь-образец с ребрами жесткости, изменением толщины стенок и отверстиями (красный треугольник — место литника)**



**Рисунок 2. Схема пресс-формы с двумя вкладышами и поворотной индексной плитой**



А — деталь, произведенная при температуре вкладыша 90°C без вариотермического контроля; Б — при 170°C с вариотермическим контролем

**Рисунок 3. Вариотермический метод предотвращает появление видимых линий соединения**

верхности с дефектами или рассеивающими областями, покажет уменьшение оптических характеристик.

**Различия в характеристиках материалов**

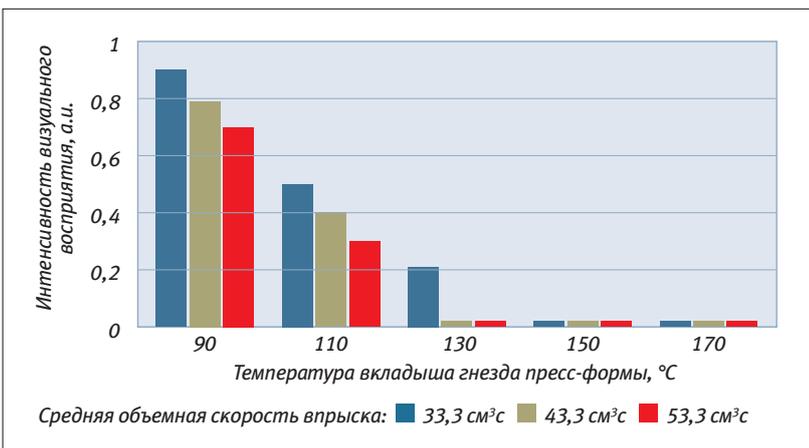
Чтобы получить более основательную информацию о качестве производимых деталей, путем измерения расстояния  $L$ , равного 0,56 мм, был исследован профиль шероховатости. Измерения проводились на расстоянии 10 мм от литниковой точки каждый миллиметр по относительной длине потока, равной 40 мм, и под прямыми углами к траектории потока. Данные были получены с помощью бесконтактного оптического сенсора. В формуле

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \cdot \int_0^L z^2(x) dx}$$

$R_q$  — среднее значение квадрата магнитуды изменения профиля шероховатости  $z(x)$  относительно средней линии;  $L$  — базовая длина [4].

Исследования показали, что образование линий соединения может быть значительно сокращено благодаря повышению темпера-

**Рисунок 4. Визуальное восприятие линий расщавления**



туры вкладыша пресс-формы. Это можно понять даже путем визуального осмотра видимой части литевой поверхности (рис. 3). На детали слева, которая была произведена при температуре гнезда 90°C, заметны четкие светлые линии соединения около круглого и прямоугольного отверстий. С другой стороны, при повышении температуры гнезда до 170°C линии становятся практически невидимыми.

Основываясь на результатах испытаний ПК/АБС (рис. 4), следует отметить, что визуально воспринимаемая интенсивность, равная 0,2, означает, что более 90 процентов людей не заметят этого дефекта. Тесты показывают, как повышение температуры гнезда коррелирует с уменьшением линий соединения. При низкой объемной скорости впрыска, равной 33,3 см³, линии пропадают при 150°C, а при более высоких скоростях они незаметны уже при 130°C. Как и ожидалось, скорость впрыска оказывает положительное влияние на уменьшение вдавненности линий соединения за счет более резкого и быстрого повышения давления после изначального формирования линии.

Также исследовалось копирование идеально гладкой поверхности гнезда пресс-формы с показателем  $R_q$ , равным 0,013 мкм, на нескольких марках полимеров. Значения  $R_q$ , измеренные в качестве функции от температуры гнезда и относительной длины потока для ПП марки РР ЕЕ188НР, показывают, что длина потока не оказывает значимого влияния на качество копирования. Однако повышение температуры гнезда уменьшает шероховатость с 0,2 до 0,05 мкм, обеспечивая большую глянецность. Кроме того, глянецность поверхности более равномерна при высоких температурах, так как разброс значений  $R_q$  уменьшается.

**Влияние на шероховатость**

Испытания также четко показывают, что температура гнезда пресс-формы влияет на шероховатость поверхности деталей, изготовленных из полимеров, использованных в исследовании (табл. 2). В большинстве случаев повышение температуры вело к уменьшению шероховатости поверхности и повышению ее глянецности.

Качество поверхности марок ПП ЕЕ188НР и ЕЕ065А1, модифицированных эластомерами, значительно повышается уже при 90°C; с другой стороны, дальнейшее повышение температуры не дало существенного эффекта. Высокой глянецности не удалось достичь даже при температурах до 120°C. Показатель  $R_q$  сильно нуклеирован-

ного прозрачного ПП (RJ370MO) при 40°C уменьшился до 0,040 мкм, однако при повышении температуры до 120°C повысился до 0,070 мкм. Этот эффект, вероятно, можно объяснить температурным увеличением микроскопических утяжек или локализованных расслоений внешнего слоя, находящегося в непосредственной близости от поверхности детали. Эти дефекты, вызванные локальными различиями в характеристиках усадки, затвердевают после заполнения пресс-формы [5-7]. Несмотря на то, что полимерная поверхность выглядит гладкой, она покрыта множеством углублений в несколько сотен нанометров, что повышает общий показатель шероховатости.

Вариотермическая переработка не оказала влияния на качество поверхности ПП RF366MO, который позиционируется как материал с высокой гляцевостью.

Даже при традиционной температуре вкладыша 90°C шероховатость деталей из ПК-смесей была низкой. Качество поверхности еще улучшилось с повышением температуры. У ПК/АБС показатель  $R_q$  оказался меньше, чем у ПК/АСА, и составил 0,028. И несмотря на то, что это все еще в два раза выше, чем у «зеркальной» поверхности пресс-формы, это стало наилучшим результатом, полученным в рамках данного исследования.

### Литература

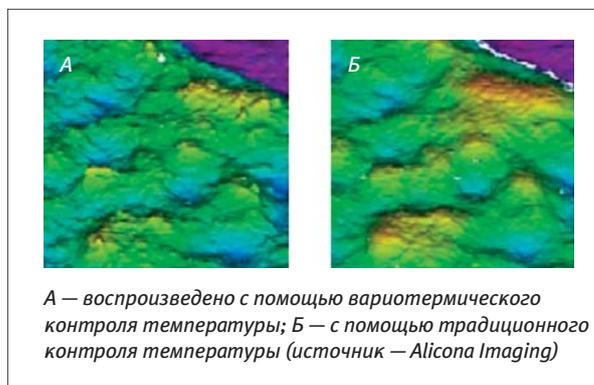
1. Giessauf J. Heizvorrichtung fuer ein Formwerkzeug. Patent AT 506 097 B1.
2. Roock S. Untersuchungen zur Verbesserung der Formteiloberflaechenqualitaet durch IR-variotherme Prozessfuehrung beim Spritzgiessen. Diploma thesis, Technical University of Clausthal, Institute for Polymer Materials and Plastics Technology. — 2010.
3. Gruber D.P. Verfahren zum automatisierten Nachweis eines Defektes an der Oberflaeche eines Formteils. Patent A384, 2009.
4. Whitehouse D. Surfaces and their Measurement. 1st Edition, Kogan Page Science. — London, 2004.
5. Berger G.R. Replication of geometric and stochastic surface microstructures by injection molding. Dissertation, Montanuniversitaet Leoben. — 2006.
6. Berger G.R., Friesenbichler W., Reitter M., Jutz S. Hochglanzoberflaechen beim Spritzgiessen. MP Materials Testing, 5. — 2010. — P. 211-221.
7. Berger G.R., Gruber D.P., Friesenbichler W., Teichert C., Burgsteiner M. Replication of Stochastic and Geometric Micro Structures — Aspects of Visual Appearance. International Polymer Processing XXVL (2011) 3. — P. 1-10.
8. Pillwein G. Verfahren und Anlagen zur Herstellung hochwertiger Optikkomponenten. IKV Conference: Optische Komponenten aus Kunststoff — Die gesamte Prozesskette im Blick. — Aachen, 2011.

Марка	Среднеквадратическое значение $R_q$ , мкм		Примечания
	40°C	120°C	
ПП Daplen EE188HP	0,200	0,050	Одинаковые значения $R_q$ при 90°C и 120°C
ПП Daplen EE065AI	0,300	0,055	Одинаковые значения $R_q$ при 90°C и 120°C
ПП Boreclear RF366MO	0,030-0,035	0,030-0,035	Нет эффектов вариотермического контроля температуры
ПП Boreclear RJ370MO	0,040	0,070	Повышение околосurface кристалличности
	90°C	170°C	
ПК/АБС Bayblend T80XG	0,035	0,028	Позитивное влияние вариотермического контроля температуры
ПК/АСА Bayblend W85XF	0,065	0,044	Позитивное влияние вариотермического контроля температуры

Вариотермический температурный контроль также обеспечивает значительные преимущества при копировании структур. Если в случае с традиционным температурным контролем на шершавых поверхностях присутствует нежелательный жирный блеск, то при использовании вариотермического метода обеспечивается равномерная матовость по всей поверхности детали. Увеличенные изображения вкладыша пресс-формы и произведенной детали на соответствующем этапе переработки с вариотермическим температурным контролем и без него [8], показывают, что сложная структура копируется лучше при повышенных температурах пресс-формы (рис. 5). III

Таблица 2. Влияние температуры вкладыша на шероховатость полимерных поверхностей

Рисунок 5. Изображение шероховатой поверхности вкладыша пресс-формы



А — воспроизведено с помощью вариотермического контроля температуры; Б — с помощью традиционного контроля температуры (источник — Alicona Imaging)

### More gloss, less welding lines

Gerald R. Berger, Susanne Roock, Georg Steinbichler, Josef Giessauf, Dieter P. Gruber, Walter Friesenbichler

In the filling phase, a higher contact temperature is required in order to achieve high-gloss surfaces or perfectly replicated microstructures and nanostructures. This is economically contra-productive, however, since only a low mold temperature enhances the cooling of the molding. Variothermal process control helps achieve both goals.