

Освещение приобретает все большее значение для автопрома как элемент дизайна салона автомобиля



Литье под давлением высококачественных световодов

Светодиоды находят все более широкое применение в транспортных средствах и все чаще используются в качестве «изюминок» в дизайне интерьера, что ставит новые задачи перед их производителями. Чтобы сохранить цветность излучения и обеспечить высокую светоотдачу светодиодов даже при их сложной геометрии и большой протяженности, например в случае контурного освещения, компания ENGEL разработала новый процесс пластикации термопластов оптического назначения при литье под давлением, который повышает однородность и чистоту расплава и, таким образом, предоставляет больше свободы проектирования дизайнерам осветительной техники.

К. Фелльнер, д-р, **Э. Хохрайтер**, д-р, **Г. Штайнбихлер**, д-р, ENGEL Austria GmbH (г. Швертберг, Австрия);

Я. Бирта, Центр компетенций CHASE (г. Линц, Австрия)

Качественный световод переносит свет от определенного источника, например от светодиода, на большое расстояние без заметной потери интенсивности и изменения цвета светового потока. Основной предпосылкой для этого является очень гладкая поверхность световода на всем пути транспортировки света, чтобы обеспечить его полное внутреннее отражение. Свет может выходить из световода только в опреде-

ленных его местах, которые имеют призматическую структуру. Соответственно, процесс литья под давлением светодиодов должен обеспечить высокую степень однородности и чистоты расплава пластика, а также максимальную точность формования поверхности. В целом литье под давлением дает большие преимущества для производства световодов, сочетая в себе свободу дизайна с экономической эффективностью.

Компания ENGEL Austria GmbH вместе с партнерами по проекту нашла принципиальное решение поставленной задачи и еще на выставке K-2019 представила процесс литья под давлением, оптимизированный для переработки полиметилметакрилата (ПММА), который позволяет изготавливать световоды самой высокой чистоты, отличающиеся сложной формой и большей длиной по сравнению с аналогами.

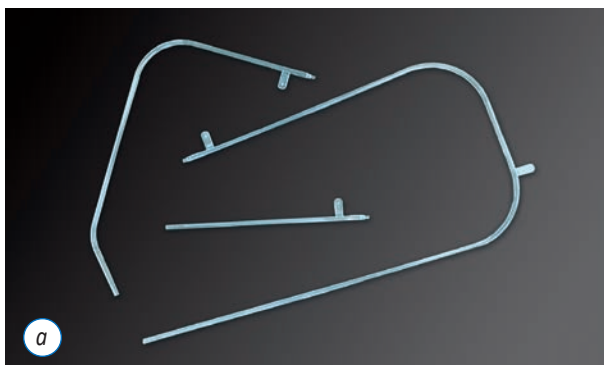


Рис. 1. Демонстрационные образцы световодов из ПММА (а), в одной из частей которых имеются филенчатые структуры, предназначенные для расщепления светового потока на выходе из световода (б) (все рисунки: ENGEL)

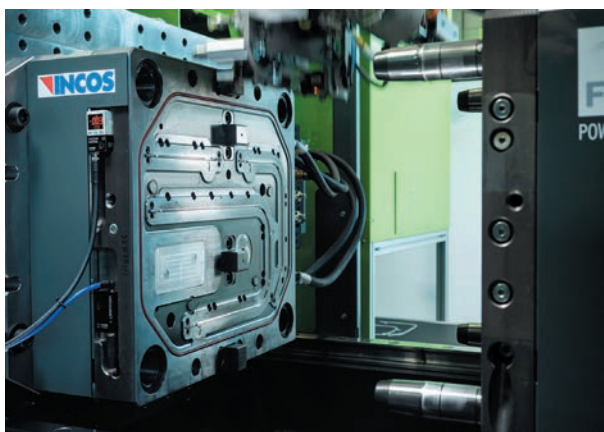


Рис. 2. «Семейная» литейная форма, в которой изготавливались три демонстрационных световода с различными длинами и конфигурациями

ПММА является одним из наиболее предпочтительных материалов в автомобильной промышленности для производства световодов, особенно когда речь идет об инновационных концепциях освещения салонов автомобилей (см. фото у заголовка статьи). Чтобы с самого начала учесть требования производителей автомобилей, чертежи демонстрационных образцов световодов, которые изготавливались в «семейной» литейной форме (производитель – фирма INEVO), были запрошены у автомобильного концерна Volvo Car Corporation. За один цикл литья в этой форме производились 3 световода разной длины и конфигурации, самый длинный из которых имел 2 точки впрыска (рис. 1 и 2). ПММА марки Altuglas V825T LPL был предоставлен фирмой Altuglas International, входящей в группу компаний Arkema.

Чтобы добиться максимальной светоотдачи от светодиодов и сохранить цветность их излучения, необходимо было выполнить следующие основные требования:

- минимальная шероховатость поверхности световода с высотой

микронеровностей менее 25 нм. Дело в том, что при большей шероховатости становится возможным искажение цвета светового потока. Например, коротковолновый (синий) свет отражается от поверхности не полностью и частично преломляется, так что выходящий из световода свет имеет желтоватый (более «теплый») цвет;

- отсутствие каких-либо инородных включений или микропор, которые вызывают рассеивание света.

Принцип «голодного питания» шнека

Ключевой технической особенностью новой технологии плаستيляции является принцип «не-

доедания» или, иначе, «голодного питания» шнека, для реализации которого компания ENGEL разработала собственное программное обеспечение. Это позволяет специально подавать на шнек во время пластикации меньше гранулята, чем машина могла бы его втягивать из воронки в обычном процессе литья под давлением. В результате в зоне загрузки шнека цилиндр лишь частично заполнен гранулятом (рис. 3). И только в направлении наконечника шнека материал уплотняется и полностью заполняет цилиндр и межвитковое пространство. Меньшее количество материала в цилиндре означает более низкие крутящие моменты на приводе шнека и, следовательно, меньшие напряжения сдвига в расплаве, что сводит к минимуму вероятность термомеханической деструкции расплава. Чтобы одновременно предотвратить и его термоокислительную деструкцию, материальный цилиндр продувается азотом через зону загрузки.

Технологическое оснащение проекта

Эти эксперименты по литью под давлением в рамках проекта проводились на литейной машине ENGEL e-motion 310/120 TL, оснащенной шнеком со специальным покрытием и обратным клапаном, спроектированными специально для переработки ПММА (рис. 4). Серия полностью электрических машин e-motion сочетает в себе эффективность с высокой динамичностью и точностью движений, что особенно важно для формования на выходной части демонстрационных световодов очень тонких структур, которые предназначены для расщепления света (см. рис. 1, б). В качестве периферийного оборудования использовались сушилка



Рис. 3. Схематичное представление принципа «голодного питания» шнека



Рис. 4. Полностью электрическая литьевая машина ENGEL e-motion 310/120 TL, на которой изготавливались демонстрационные световоды

Luxor EM-A 60 и дозатор Minicolor с дозирующим диском (производитель обоих устройств – фирма Motan-Colortronic).

Чтобы учесть разную длину пути течения расплава при литье трех световодов с различной геометрией, партнер по проекту – фирма HRSflow – предварительно протестировала различные системы впрыска с электроприводными игольчатыми запорными клапанами. Была использована система HRS FlexFlow, которая позволяет управлять запорными иглами индивидуально, в зависимости от положения шнека.

Оптическая система контроля качества световодов

Для контроля качества световодов в производственную ячейку на базе e-motion 310/120 TL была интегрирована специальная оптическая система,



Рис. 5. Встроенная система контроля качества световода (а), основанная на сравнении значений $T_{\text{кц}}$, измеряемых рядом с источником света (1) и на расстоянии от него (2) (б)

которая после каждого впрыска тестировала самый маленький световод, выполненный в форме стержня длиной 150 мм (рис. 5). Сразу после извлечения из формы робот помещал его на испытательную станцию со светодиодным источником света, где с помощью системы Radiant Vision (модель IC-PMI8 от фирмы Konica Minolta Sensing Europe) измерялись значения $T_{кц}$ коррелированной цветовой температуры CCT (Correlated Color Temperature) на входе в светодиод ($T_{кц1}$) и выходе из него ($T_{кц2}$).

Как известно, показатель CCT характеризует восприятие человеческим глазом цвета света и определяется как температура черного тела, при которой цветность его оптического излучения соответствует цветности рассматриваемого излучения. Например, значения температуры ниже 3000 К воспринимаются как «теплые» цвета, выше 3000 К – как «холодные». Чем меньше значение $T_{кц}$ отклоняется от эталонного значения, соответствующего свету светодиодного источника ($T_{кц1}$), тем лучше качество световода, критерием оценки которого служила разница $\Delta T_{кц}$:

$$\Delta T_{кц} = T_{кц1} - T_{кц2}.$$

Оптимизация режима и условий литья под давлением

Результаты литья под давлением наглядно подтвердили положительное влияние «голодного питания» зоны загрузки материального цилиндра на качество световодов (рис. 6, а). В данной серии экспериментов количество добавляемого материала варьировалось с помощью дозатора, при этом от цикла к циклу добавлялось все меньше и меньше гранулята ПММА, чем машина могла бы его втягивать из загрузочной воронки в обычном процессе литья. Наилучшие результаты были достигнуты при степени заполнения материального цилиндра, равной 65 %. Если подачу материала еще более уменьшить, оптическое качество световода снова ухудшится. Это связано с тем, что время дозирования увеличивается по мере уменьшения подачи материала, что снова увеличивает сдвиговую нагрузку на расплав.

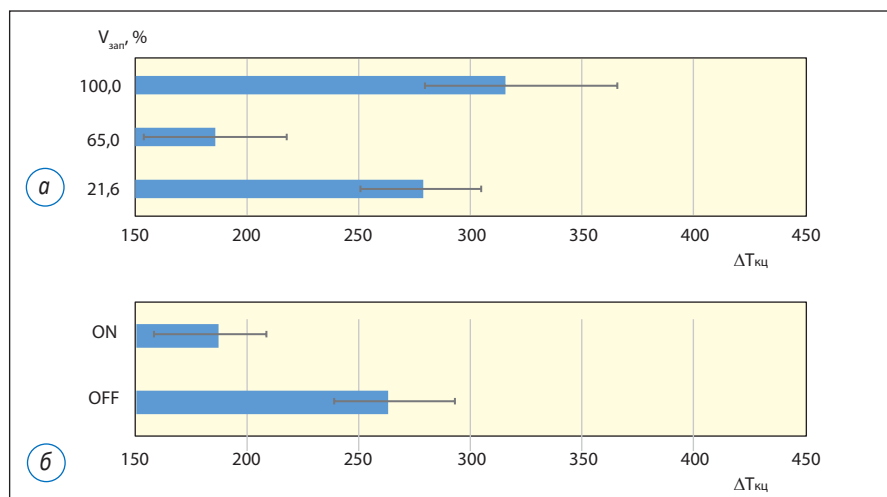


Рис. 6. Влияние на показатель $\Delta T_{кц}$ световодов степени заполнения $V_{зап}$ гранулятом ПММА материального цилиндра (а) и подачи азота в зону загрузки материального цилиндра (б): ON – подача азота включена, OFF – выключена (здесь и на рис. 7 тонкие прямолинейные отрезки характеризуют разброс значений $\Delta T_{кц}$)

Дополнительное положительное влияние на качество световодов оказывает продувка материального цилиндра азотом (рис. 6, б). В ходе экспериментов зона загрузки про- дувалась с расходом азота, равным

0,2 л/мин, чтобы вытеснить воздух и предотвратить окисление расплава ПММА.

В целях дальнейшей оптимизации процесса литья также было исследовано влияние других

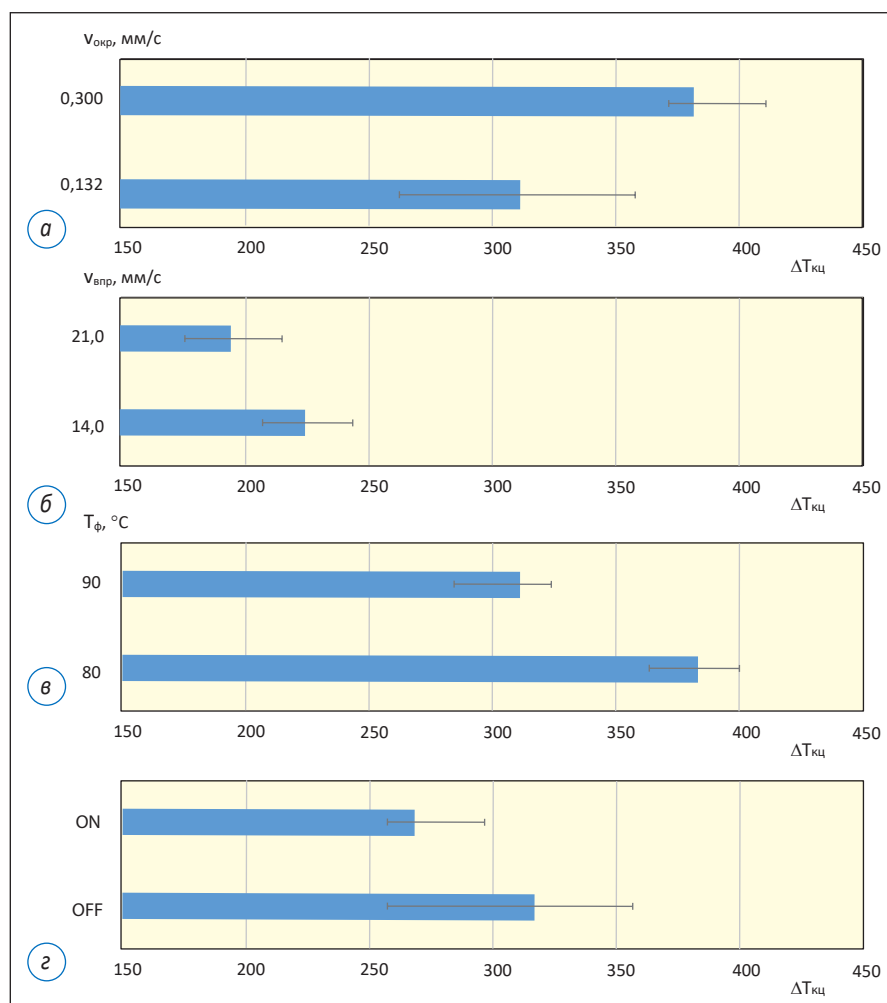


Рис. 7. Влияние на показатель $\Delta T_{кц}$ световодов окружной скорости вращения шнека $v_{окр}$ (а), скорости впрыска $v_{впр}$ (б), температуры формы $T_{ф}$ (в) и пылеулавливания (г): ON – пылеулавливание включено, OFF – выключено

параметров процесса на оптическое качество световода (рис. 7). Так, испытания показали, что, хотя в паспорте на использованный в работе ПММА была указана допустимая окружная скорость вращения шнека на уровне 0,3 м/с, более медленная пластикация может значительно улучшить оптическое качество световодов (см. рис. 7, а).

Увеличение скорости впрыска $v_{\text{впр}}$ до 21 мм/с также способствует повышению качества световодов (см. рис. 7, б). Но при дальнейшем повышении $v_{\text{впр}}$ оно ухудшается. Это связано с увеличением давления впрыска для роста $v_{\text{впр}}$ и, следовательно, и напряжений сдвига во впрыскиваемом расплаве ПММА.

Результаты исследований показали, что и температура формы имеет значение. Так, ее некоторое увеличение позволяет повысить гладкость поверхности световодов и благодаря этому не только снизить значения $\Delta T_{\text{кц}}$, но и погрешность измерений (см. рис. 7, в).

Следует особо отметить положительное влияние обеспыливания гранулята: чем ниже содержание пыли в материале и расплаве, тем меньше значения $\Delta T_{\text{кц}}$ и их разброс (см. рис. 7, г).

Выводы

Разработанный ENGEL процесс пластикации термопластов оптического назначения открывает новые возможности для светотехники. «Голодное питание» шнековой пары литьевой машины в сочетании с оптимизированным управлением процессом обеспечивает очень высокое оптическое качество тонких протяженных световодов сложной формы. Это подтверждается результатами контроля с помощью встроенной измерительной системы. Для производства световодов в основном используются полностью электрические литьевые машины, что послужило основанием для выбора машины e-motion в данном проекте. Однако новая технология

пластикации вовсе не исключает возможности ее использования на машинах самых разных типоразмеров с различной конструкцией приводов. По желанию переработчика ENGEL может интегрировать соответствующие периферийные системы в существующее у него оборудование, поскольку разработанная технология не привязана к основному и периферийному оборудованию конкретного бренда.

Injection Moulding of High-quality Light Guides

K. Fellner, E. Hochreiter, G. Steinbichler, J. BIRTHA

In cars, LEDs are taking over ever more applications and are increasingly used as differentiating design elements. They increase the geometrical variation, which poses new challenges to manufacturers of light guides. In order to ensure a high luminous efficiency even with complex geometries and elongated structures, ENGEL has developed a new plasticizing process for manufacturing light guides. This increases the homogeneity and purity of the melt, thus opening up new freedom for light designers. ■