

Авторы: Йорг Шеффер, Томас Шеффер, GTP Schäfer GmbH, Гревенброх, Томас Багински, Georg Fischer GmbH, Лейпциг

# Энергоэффективность прибыльной системы

Дополнительная энергия и ее соответствующий подвод необходимы во время плавления и на других стадиях производственного процесса. Прибыльная система — один из основных элементов технологии литья, который требует подвода дополнительной энергии. Кроме экономических аспектов, современная прибыльная система с оптимизированным энергетическим балансом обладает еще и прикладным преимуществом: новые возможности для надежного питания отливок сложной геометрической формы

Литейная промышленность и ее поставщики не могут избежать мировой тенденции и требований по более эффективному использованию ресурсов, сырья и добавок. Производственные процессы в литейном производстве являются энергоемкими и, как следствие, имеют большой потенциал по улучшению ситуации в области энергопотребления. Кроме самого процесса плавления, некоторые стадии производственного процесса требуют дополнительного подвода энергии, например прибыльная система. В настоящее время целенаправленная кристаллизация достигается в основном за счет использования экзотермических прибыльных вставок, которые селективно нагревают расплав и тем самым позволяют подавать его в важные узлы отливки. Таким образом, имеются два источника дополнительного тепла: экзотермическая реакция материала прибыли и поступающий в нее дополнительный жидкий металл.

Прибыль с оптимизированным энергетическим балансом, кроме экономических, обладает и техническими преимуществами: возможность надежного питания отливок сложной геометрической формы.

На выставке GIFA 2011 компания GTP Schäfer представила новый продукт — прибыльную



Размещение оптимизированной по размерам ЕСО-прибыли в стержне с тонкими внешними стенками

систему с оптимизированным энергетическим балансом. Новая разработка позволяет свести к минимуму необходимость подачи дополнительной энергии через прибыльную систему при одновременном увеличении производительности.

## Современное состояние прикладной технологии

### Прибыльные втулки в современном массовом производстве

За последние годы со стороны заказчиков наблюдается серьезное ужесточение требований к

гарантированному получению деталей все более сложной геометрической формы в ходе серийного производства. Причина повышения сложности формы деталей — дополнительные свойства и функции компонентов всей системы, что продиктовано постоянным требованием снижения массы и расхода энергии. В настоящее время использование бионики играет важную роль. Благодаря оптимизации структуры с помощью моделирования удалось перенести используемые в природе принципы конструирования на процесс создания отливок с элементами бионики. В секторе грузовых автомобилей цель снижения общей массы для повышения энергоэффективности, сокращения выбросов и снижения уровня шума приобретает все большее значение.

С точки зрения материала использование литейного чугуна с высоким содержанием кремния и шаровидным графитом становится все более популярным. Данный материал характеризуется повышенной грузоподъемностью, хорошей обрабатываемостью и равномерным распределением твердости и прочности по детали. Кроме пониженных производственных затрат, оптимизация конструкции и самого материала позволила снизить эксплуатационные затраты (расход топлива), что одновременно привело к увеличению механических напряжений в компонентах. Для одновременного достижения этих противоречащих друг другу целей конструкторы применяют методы проектирования деталей с минимальными стенками с их селективным упрочнением в местах нагрузки и сборки. Подобные методы конструирования включают создание дополнительных точек в отливке, которые необходимо принимать во внимание при проектировании прибыльной и литниковой систем. Простые компоненты мож-

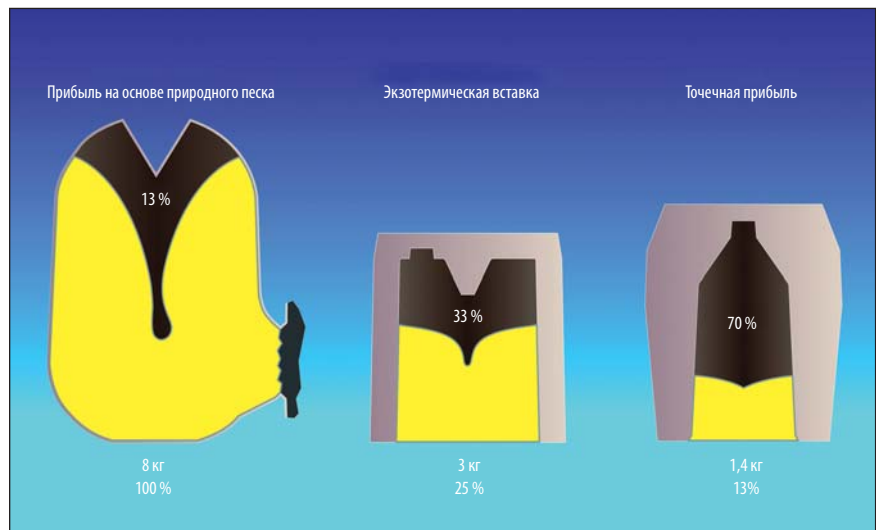


Рисунок 1. Сравнение эффективности прибылей различного типа

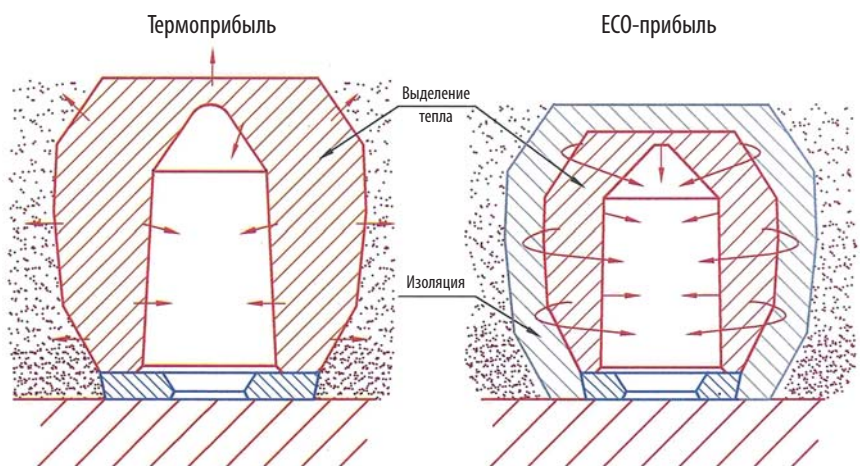


Рисунок 2. Выделение энергии экзотермической прибылью в формовочную смесь

но питать с использованием небольшого числа точек, которые могут соединяться друг с другом, а питание отливок сложной формы осуществляется избирательно через значительно большее количество точек. В связи с этим при массовом производстве таких отливок все чаще применяются верхние прибыли и вспомогательные устройства. Прибыли устанавливаются непосредственно на соответствующих узлах, так как именно здесь завершается кристаллизация расплава и, как следствие, возникают раковины вследствие усадки материала (5–7 %). В процессе питания

формы также происходит заполнение прибылей, размещаемых на самой верхней точке. Функция прибыли — переместить последний момент кристаллизации из объема отливки в прибыль, тем самым избирательно оказывая влияние на процесс кристаллизации.

#### Изменение эффективности прибыльных систем во времени

За последние три десятилетия эффективность прибылей, используемых в литейной промышленности, значительно увеличилась. Величина всасывания для классических прибыльных си-

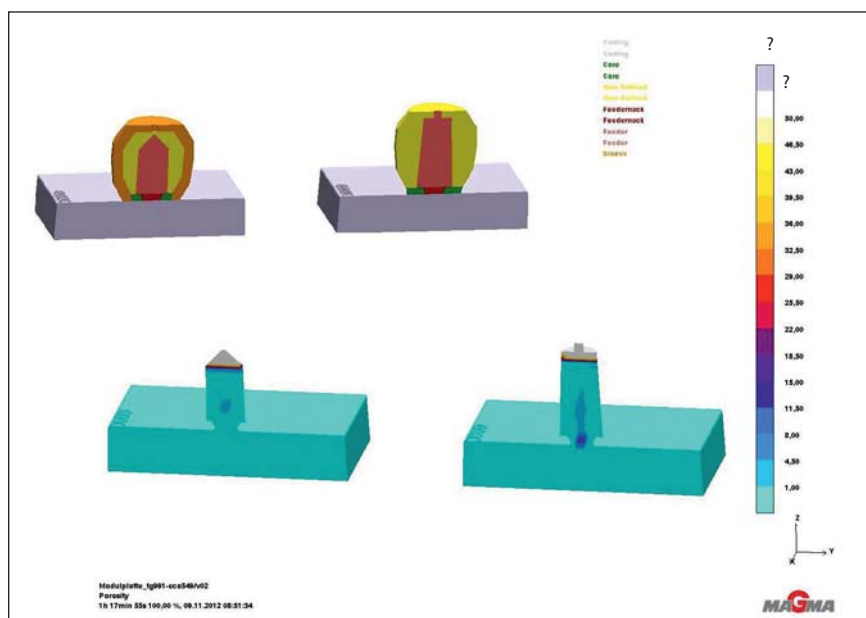
стем показана на **рис. 1**. Внедрение чугуна с шаровидным графитом на литейных предприятиях привело к эксклюзивному использованию прибылей из формовочной смеси с величиной всасывания 10–15 %. Для питания отливки массой 20 кг с величиной усадки 5 % (1 кг) в прибылях должно быть 7–10 кг расплава. На этом примере видно, что выход уменьшается на 30 % только из-за прибыли. Металлическая составляющая прибыли возвращается в плавильный процесс и снова готовится для литья

с использованием энергии и легирующих добавок.

В 1970-е годы впервые начали применять теплоизоляцию и экзотермические колпачки для повышения степени всасывания на 20–25 % и увеличения производительности литейных производств. Кроме повышения эффективности, преимущество применения вставок заключалось в возможности использования в качестве головных элементов прибылей для деталей определенной геометрии (например, плоских поверхностей). Благодаря

использованию теплоизоляции или экзотермических колпачков удалось также улучшить эффективность боковых прибылей.

С 1990-х годов началось интенсивное использование экзотермических прибыльных вставок со стержнем-перемычкой. При степени всасывания 60–70 % эти прибыли значительно опережали описанные выше прибыльные колпачки. Вспомогательные устройства могли выполнять различные функции. В зависимости от сплава и геометрии детали они могли способствовать питанию формы (например, за счет дополнительного нагрева шейки прибыли с использованием экзотермических обжимных валиков) или минимизации затрат на очистку при серийном производстве за счет уменьшения сечения шейки прибыли (стержни-перемычки из кварцевого песка).



**Рисунок 3.** Результаты сравнительного моделирования эффективности экзотермической и ЕСО-прибыли



**Рисунок 4.** Модульные пластины с раковинами

**Используемые прибыльные массы**  
В зависимости от использования и предпочтений заказчика в настоящее время находят применение три типа прибыльных масс.

- » *Теплоизолирующие прибыльные массы.* В этом случае внешняя часть прибыли изготавливается из теплоизолирующего материала, теплопроводность которого существенно ниже теплопроводности кварцевого песка сырой формовочной смеси формы. За счет использования теплоизолирующего материала энергия (тепло) держится внутри прибыли более продолжительное время, обеспечивая задержку кристаллизации расплава. Таким образом, прибыль может более длительное время питать жидким металлом отливку или узел.
- » *Экзотермические прибыльные массы.* Наиболее популярные в настоящее время прибыльные массы обладают экзотермическими свойствами различной интенсивности: от слабых до сильных. При вступлении рас-

плава в контакт с материалом прибыли начинается экзотермическая реакция (на основе метода Гольдшмидта), благодаря которой к металлу прибыли подводится дополнительная энергия и обеспечивается поддержка процесса кристаллизации расплава. Геометрия прибыли и ее экзотермические свойства с хорошими значениями модуля кристаллизации (отношение объема к поверхности прибыли) обеспечивают повышенную степень ее всасывания.

» *Экзотермические и теплоизолирующие прибыльные массы.* В данном случае экзотермическая прибыльная масса смешивается с теплоизолирующим наполнителем. Таким образом, прибыльная масса может поставлять металлу прибыли дополнительную энергию за счет экзотермической реакции, одновременно обеспечивая высокие теплоизолирующие свойства после ее завершения.

#### **Первоначальный анализ энергоэффективности**

##### **используемых прибыльных систем**

В начале проведения анализа следует отметить, что используемые при крупносерийном производстве прибыльные массы уже обладают оптимизированными характеристиками. Прикладные технологии постоянно совершенствовались с целью позиционирования прибыльных стаканов как можно ближе к соответствующим узлам, а также оптимизации затрат на очистку. В последние годы литейные предприятия получили широкий спектр предложений по гибким прибыльным системам, которые могут быть адаптированы к индивидуальным условиям производственного процесса.

Кроме модуля кристаллизации важной характеристикой для энергоэффективности прибыльной системы является степень ее всасывания. Это, возможно, наиболее важный измеряемый пара-

метр для литейщика, так как производительность литейной системы оказывает решающее влияние на эффективность всего производственного процесса. Если литейщик в состоянии увеличить производительность процесса, то это значит, что он может лучше использовать существующие производственные мощности (плавильный участок, формовочную линию, агрегат очистки), выпуская больше качественных отливок с использованием тех же самых производственных мощностей, т. е. машин, энергии и специалистов. Поэтому в настоящее время литейные предприятия все в большей степени применяют экзотермические прибыльные вставки.

Как было отмечено выше, экзотермическая прибыльная масса выделяет энергию, которая избирательно подводится к определенному месту в ходе процесса литья. При более внимательном изучении температурного профиля вблизи прибыли можно обнаружить, что только небольшая доля энергии, выделяемой в ходе экзотермической реакции, передается металлу в прибыли. Экзотермическая прибыльная вставка окружена формовочной смесью, которая обладает относительно высокой теплопроводностью и должна обеспечить максимально быструю кристаллизацию отливки.

Соответствующие поверхности, т. е. поверхность контакта жидкого металла внутри прибыли, через которую он может поглощать энергию (поверхность 1), и поверхность контакта снаружи прибыли с формовочной смесью, через которую ей прибыль отдает энергию (поверхность 2), показаны в сравнении на **рис. 2**. Очевидно, что поверхность 2 значительно больше и, следовательно, большая доля экзотермической энергии рассеивается в формовочной смеси. В этом случае возникает вопрос, можно ли использовать экзотермическую энергию

более эффективно или целенаправленно для нагрева внутреннего пространства прибыли и каким образом можно добиться этого?

#### **Оптимизирующий подход «частичная/направленная теплоизоляция»**

##### **Принцип «частичной/направленной теплоизоляции»**

Вследствие больших потерь энергии экзотермической прибыли в формовочной смеси была поставлена цель сконструировать прибыльную систему, которая передавала бы большую часть своей энергии не формовочной смеси, а подаваемому в отливку металлу, т. е. перевести процесс кристаллизации расплава в прибыль. Этого можно добиться за счет комбинирования двух эффектов прибыльной массы: экзотермического и теплоизоляционного. Проблема существующих в настоящее время экзотермическо-изоляционных прибыльных масс заключается в том, что теплоизоляционный эффект минимизируется из-за наличия в смеси экзотермических компонентов, так как экзотермические и теплоизоляционные компоненты смешиваются вместе. Кроме того, существует большая вероятность необходимости проведения оптимизации с целью направления выделяющейся в ходе экзотермической реакции энергии внутрь прибыли. Следует отметить, что данный принцип нельзя реализовать в случае однородной прибыльной массы.

##### **Реализация в прибыльной системе**

Реализация описанного выше принципа частичной или направленной теплоизоляции возможна, если прибыльная масса обладает двумя свойствами одновременно. Масса должна иметь ярко выраженные экзотермические свойства, т. е. передавать как можно больше энергии расплаву внутри прибыли,

не допуская чрезмерного локального нагрева металла («кипения»). Кроме того, масса должна иметь низкую теплопроводность, т. е. передавать как можно меньше энергии формовочному материалу.

Как было отмечено ранее, прибыльная масса подобного рода не может быть однородной и, следовательно, должна быть составлена по модульному принципу. На этих базовых принципах была разработана так называемая ЕСО-прибыль — совместный проект компании GTP Schäfer и Т. Багински из компании Georg Fischer (Лейпциг).

ЕСО-прибыль имеет модульное исполнение и состоит из двух прибыльных масс. Внутренний слой получен на основе высокоэкзотермического прибыльного материала, который задерживает или направляет процесс кристаллизации расплава в прибыль с помощью экзотермической энергии. Внутренняя контактная поверхность прибыльной вставки — точка, в которой энергия передается жидкому металлу.

Для уменьшения передачи формовочной смеси, выделяемой в результате экзотермической реакции энергии, экзотермический прибыльный материал покрывается оболочкой из теплоизолирующей прибыльной массы. Подобная изоляция позволяет свести к минимуму потери экзотермической энергии в формовочной смеси.

#### Первый анализ энергоэффективности

Уменьшая передачу формовочной смеси энергии через внешнюю поверхность прибыли, можно добиться повышенного модуля прибыли при тех же внешних геометрических параметрах. Используя ЕСО-прибыль с меньшим объемом и более слабой экзотермической реакцией, можно качественно заполнить модульную пластину, которая при применении менее



**Рисунок 5.** Размещение ЕСО-прибыли непосредственно на профилем контуре отливки

эффективных прибылей имеет значительное количество раковин в переходной зоне между шейкой прибыли и модульной пластиной, несмотря на большие внешние геометрические параметры. Сравнительные результаты моделирования модульной ЕСО-прибыли и обычной прибыли показаны на рис. 3, что подтверждено в ходе серии экспериментов (рис. 4).

#### Расширение области применения подобных прибыльных вставок

Повышенный модуль прибыли при тех же геометрических параметрах открывает новые возможности для ее применения. Для оптимального экранирования, а следовательно, повышения эффективности процесса элементы прибыльной системы можно переместить внутрь стержневого пакета без необходимости установки громоздкой боковой прибыли. Впервые удалось установить прибыль достаточно близко к контуру отливки, используя экзотермический эффект (рис. 5).

До внедрения подобной прибыли ее применение в стержне

ограничивалось двумя факторами: внутренний стержень имеет весьма ограниченное пространство для размещения прибыли с объемом, обеспечивающим приемлемую величину модуля; при использовании экзотермических прибылей в комбинации с жидким металлом стержни или внутренние элементы формы могут подвергаться достаточно сильному селективному нагреву, который приводит к формированию так называемых неохлаждаемых поверхностей и увеличению модуля вокруг стержня. Кроме того, это способствует образованию вторичных пустот, так как на этих частях стержня замедляется формирование плотной литейной корочки.

Использование ЕСО-прибыли позволяет уменьшить требования к пространству, где производится ее установка (см. рис. на стр. 20). Кроме того, внешняя изоляция экзотермической прибыльной вставки дает возможность предотвратить или, по крайней мере, существенно ослабить нагрев внутри стержневого пакета и прилегающих элементов отливки.

Прибыль обладает неоспоримыми преимуществами при установке на профильные пластины. Если, например, литниковые чаши расположены очень близко к контуру отливки, часто их необходимо сдвигать в сторону. Это означает, что следует смириться с увеличением размеров шейки прибыли, что, в свою очередь, приводит к ее частому охлаждению и образованию раковин в отливке. ЕСО-прибыль можно установить достаточно близко к контуру отливки благодаря возможности нагрева ограниченно-го пространства формы. Данным преимуществом также обладают верхние прибыли при установке на профильные поверхности в тесных сечениях отливки.

#### Перспективы применения ЕСО-прибылей

После первых испытаний прибыли, которые первоначально были спроектированы для ком-

пании Georg Fischer GmbH (Лейпциг), была проведена серия экспериментов по компьютерному моделированию конструкции будущих устройств. Это позволило при минимальных затратах разработать прибыли с оптимальной геометрией конструкции, которые были испытаны в практических условиях на специальных модульных пластинах, отличающихся друг от друга по величине на 0,1 см. Подобная тонкая настройка позволила провести точное сравнение экспериментальных и расчетных результатов.

Оптимизация конструкции прибыльной системы продолжилась после начала производства на ряде литейных предприятий.

#### Выводы

ЕСО-прибыль позволяет существенно повысить добавленную стоимость, увеличивая энергоэффективность прибыльных си-

стем и литейных производств. Кроме положительного влияния на ключевые факторы (например, производительность, рециклируемый материал, технологическую надежность), данная инновационная прибыльная система предоставляет литейщикам новые возможности. Прибыли можно разместить значительно ближе к критическим профильным контурам и обеспечить питание при хорошей величине модуля. Описанное выше сотрудничество между компаниями GTP Schäfer и Georg Fischer (Лейпциг) подчеркивает необходимость совместных усилий по разработке инновационных подходов и решений для непрерывного улучшения процессов литейного производства и продукции их поставщиков.

[www.gtpschaefer.de](http://www.gtpschaefer.de)



# MONOMETER

100 лет  
совершенства  
1913–2013

## Печи для рециклинга меди и олова

- ▶ **Извлечение из оловянного осадка:**
  - ▶ Шихтовые материалы: содержание олова 76–80 %.
  - ▶ Извлечение: обычно свыше 95 %.
  - ▶ Операционный цикл: вращающаяся печь фирмы Monometer емкостью 500 кг работает в непрерывном режиме, перерабатывая 2–3 т зольных остатков в течение трехчасового цикла.
  - ▶ Преимущества: рециклинг пыли во вращающейся печи из шлака и рукавных фильтров повышает извлечение до уровня свыше 98 %.
- ▶ **Извлечение из медного скрапа:**
  - ▶ Установка вращающихся печей фирмы Monometer емкостью 5–55 т для извлечения меди.
  - ▶ Качество: повышение степени очистки от 96 % до 99,98–99,99 %.
  - ▶ Метод очистки: печи оборудуются фурмами или пористыми пробками для окисления и восстановления.

**Monometer Holdings Ltd**  
**Monometer House, Rectory Grove, Leigh-on-Sea, Essex SS9 2HN**  
**Тел.: +44 1702 472201 Факс: +44 1702 715112**  
**[www.monometer.co.uk](http://www.monometer.co.uk) Эл. почта: [furnaces@monometer.co.uk](mailto:furnaces@monometer.co.uk)**




Реклама