

УДК 621.74.043.2+621.7.079

А.М. Михальцов

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

А.А. ПивоварчикГродненский государственный университет имени Янки Купалы,
г. Гродно

РОЛЬ СМАЗОК ПРИ РАЗДЕЛЕНИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТЕРЖНЯ И ОТЛИВКИ В МОМЕНТ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЕЕ ИЗ ПРЕСС-ФОРМЫ ПРИ ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Известно [1, 2], что при удалении отливки из полости пресс-формы она перемещается по охватываемым ею поверхностям (стержням). Это сопровождается появлением сил трения на границе раздела отливка–стержень. Осциллограммы процесса выталкивания отливки из пресс-формы, представленные в работе [1], свидетельствуют о том, что съём отливки со стержня происходит одномоментно, импульсно, если стержень установлен без перекосов и на его поверхности отсутствуют задиры.

При изучении процесса удаления отливки из пресс-формы рассматривали [2,3] схему сил, приведенную на рис.1.

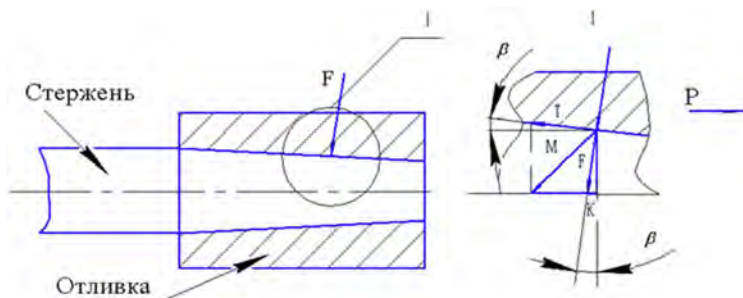


Рис. 1. Схема сил, действующих при удалении отливки со стержня

Условие равновесия сил P , действующих при съёме отливки со стержня, спроектированных на горизонтальную ось, можно выразить следующей математической зависимостью:

$$P = T \cos \beta - F \sin \beta,$$

где T – сила трения между отливкой и стержнем;

F – реакция нормального давления со стороны отливки, вызванная усадкой сплава;

β – литейный уклон стержня.

Если предположить, что стержень будет иметь идеально гладкую поверхность ($R_a \rightarrow 0$), а сила трения между отливкой и стержнем T будет стремиться к нулю, то

$$P = -F \sin \beta.$$

Следовательно, при усадке сплава под действием реакции нормального давления F со стороны отливки возникает усилие, которое способствует съему отливки со стержня. В свою очередь, наличие технологического уклона β на гладкой поверхности стержня приводит к тому, что усилие T , обусловленное трением и возникающее при съеме отливки со стержня в начальный момент, должно стремиться в дальнейшем к нулю.

Данное положение подтверждает элементарный математический расчёт. Например: при уклоне стержня в 1° и перемещении отливки на 0,1 мм между отливкой и стержнем должен образоваться зазор, равный 1,7 мкм. При уклоне в 3° величина зазора при том же перемещении отливки относительно стержня возрастает до 5,1 мкм, т.е. произойдёт разделение поверхностей. В отсутствие контакта поверхностей усилие, обусловленное их трением, равно нулю. Однако на практике усилие $F \cdot \sin \beta$ намного меньше силы трения T между отливкой и стержнем, что обусловлено наличием шероховатости на поверхности стержня.

Согласно ГОСТ 2789–73 [4] существует 14 классов чистоты поверхности. Каждому из них соответствует определенное среднеарифметическое отклонение профиля от средней линии.

В работе [2] отмечается, что коэффициент трения при контакте металлических поверхностей находится в пределах от 0,05 до 0,8. Для случая литья под давлением при расчёте усилия удаления стержня из отливки коэффициент трения предлагается принимать равным 0,2–0,25 [5].

Однако при этом не учитывается влияние шероховатости поверхности стержня, значения технологического уклона на контактирующих поверхностях.

В настоящей работе проведены исследования по определению влияния шероховатости поверхности элемента

пресс-формы (стержня), величины его технологического уклона на процессы разделения поверхностей отливки и стержня в первоначальный момент извлечения отливки из пресс-формы. Влияние указанных факторов оценивали с использованием типовых профилеграмм опорных поверхностей, снятых с эталонных образцов для 7-го ($R_a = 1,25$ мкм), 8-го ($R_a = 0,63$ мкм) и 9-го ($R_a = 0,32$ мкм) классов чистоты поверхности.

Выбор вышеуказанных профилей опорных поверхностей обусловлен, прежде всего, тем, что шероховатость поверхностей пресс-форм, включая стержни, как правило, закладывается на уровне 9 класса чистоты поверхности ($R_a = 0,32$ мкм).

В реальных условиях выдержать заложенные параметры не всегда удаётся, поэтому рассматривали также варианты, когда шероховатость поверхности соответствует 8-му и 7-му классам чистоты.

Принято допущение, что металл отливки заполняет все микронеровности на поверхности стержня при отсутствии на нём смазки. Это допущение обусловлено особенностями процесса литья под давлением: высокой скоростью заполнения формы расплавом и наличием подпрессовки. Оба указанных фактора будут способствовать более полному заполнению неровностей и формированию поверхности отливки идентичной поверхности стержня. Указанное допущение подтверждено при изучении шлифов зоны контакта стержня и отливки, изготовленной без использования разделительного покрытия.

При съёме затвердевшей отливки со стержня возможно пересечение образовавшегося профиля отливки с профилем стержня. Этот процесс моделировали, используя стандартный пакет программного обеспечения «Компас» компании АСКОН. Принятые профили опорных поверхностей служили границей раздела отливки и стержня и располагались под углом 1, 2 и 3° к оси стержня.

При перемещении профиля отливки относительно профиля стержня на некоторую длину l , в сторону съёма, образуются зоны возможного взаимного пересечения и свободные зоны (рис. 2). Зоны возможного взаимного пересечения профилей отливки и стержня будут отвечать за торможение отливки на стержне, т.е. будут создавать усилие T , которое необходимо преодолеть при её съёме. Чем больше площадь зон взаимного пересечения отливки и

стержня, тем выше усилие, которое необходимо приложить для съёма отливки.

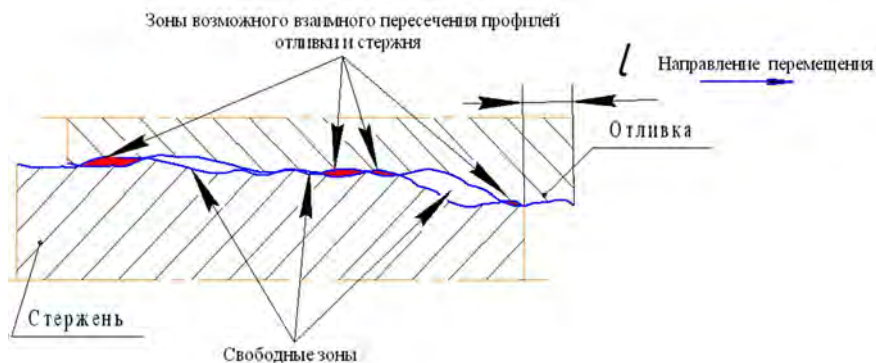


Рис. 2. Схема образования зон возможного взаимного пересечения профилей и свободных зон (зазоров) при перемещении отливки относительно стержня (фрагмент)

Расчет суммарной площади зон возможного взаимного пересечения профилей при перемещении отливки относительно стержня осуществляли с применением программных средств Demo-Version «Компас» компании АСКОН, используя следующие математические модели:

$$A = \sum_{i=1}^N \Delta S_i(x_i), \quad (1)$$

где $\Delta S_i(x_i)$ – площадь i -й зоны возможного взаимного пересечения, мм^2 ;

x_i – шаг измерения при перемещении поверхности отливки относительно поверхности стержня, мм .

При этом площадь i -й зоны возможного взаимного пересечения определяли по следующей формуле:

$$\Delta S_i(x_i) = \int_{x_i}^{x_i+1} [\varphi_1(x_i) - \varphi_2(x_i)] dx, \text{ если } \varphi_1(x_i) \geq \varphi_2(x_i),$$

где $\varphi_1(x_i)$ и $\varphi_2(x_i)$ – соответственно функции опорных профилей поверхности отливки и стержня.

По аналогичной схеме проводили вычисление площадей свободных зон, образующихся при пересечении профиля отливки и стержня.

На рис. 3 показан один из этапов расчета площади взаимного пересечения профилей при перемещении отливки относительно стержня на 5 мкм при угле поверхности последнего в 1° .

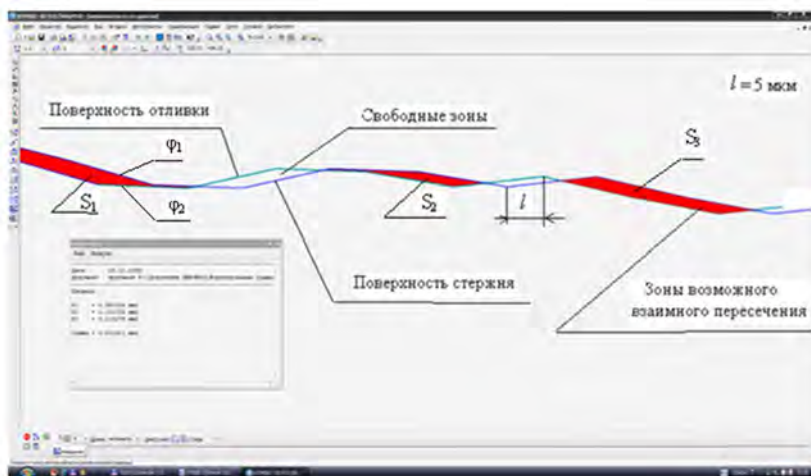


Рис. 3. Пример расчета площади зон возможного взаимного пересечения поверхности стержня и отливки, при использовании программного обеспечения «Компас»

Установлено, что при увеличении класса шероховатости поверхности стержня от 0,32 до 0,64 Ra площадь зон взаимного пересечения поверхностей возрастает вследствие большего числа максимальных выступов на поверхности стержня, по которым происходит деформационное торможение материала отливки. Увеличение литейного уклона стержня от 1 до 3° способствует скорейшему разделению контактирующих поверхностей.

Площадь свободных зон при перемещении отливки относительно стержня возрастает интенсивней и, в любой момент времени, превышает площадь зон взаимного пересечения, что создаёт условия для пластического оттеснения материала отливки в обра-

зующиеся «пустоты». Наличие разделительного покрытия в указанных зонах должно облегчить процессы оттеснения материала отливки без его разрушения.

При уклоне стержня 1° и несмазанной поверхности оснастки разделение поверхностей происходит на длине участка для 0,32 Ra – 75 мкм; 0,63 Ra – 100 мкм. При уклоне стержня 2° для 0,32 Ra на участке длиной в 55 мкм; 0,63 Ra – 60 мкм. Если уклон стержня составляет 3° , то для 0,32 Ra разделение поверхностей происходит на длине в 35 мкм; 0,63 Ra – 50 мкм.

При наличии на поверхности оснастки разделительного покрытия (смазки) целесообразно рассмотреть три возможных варианта:

- 1) разделительное покрытие заполняет микронеровности оснастки до максимальной высоты выступов;
- 2) разделительное покрытие частично смыто, но заполняет микронеровности профиля оснастки до какой-то величины;
- 3) разделительное покрытие полностью удалено с поверхности пресс-формы.

Если толщина смазочного слоя находится на уровне высоты максимальных выступов на поверхности стержня, т.е. реализуется вариант 1, то имеет место гидродинамическое трение и отливка свободно извлекается из пресс-формы.

Если струя жидкого металла на выходе из питателя подведена перпендикулярно поверхности стержня, то сохранение смазочного слоя в этом месте весьма проблематично и будет зависеть от длительности и интенсивности воздействия, а также свойств смазочного слоя. При этом создаются условия для реализации третьего варианта с высокой вероятностью образования т. н. «задилов».

На участках поверхности пресс-формы, подвергшихся менее интенсивному воздействию жидкого металла, возможно сохранение смазочного слоя по второму варианту; при этом возможен граничный режим трения в сочетании с гидродинамическим, что приемлемо для успешного извлечения отливки из пресс-формы.

Необходимо отметить, что полной деструкции продуктов разделительного покрытия на поверхности пресс-формы после ее заполнения металлом не происходит вследствие кратковременности процесса и дефицита кислорода на границе раздела отливка-стержень. При этом разделительное покрытие присутствует здесь

в пароконденсированном состоянии, создавая парожидкостный промежуточный слой, который препятствует затеканию расплава в микронеровности на поверхности стержня, что может облегчить процесс разделения стержня и отливки.

Также можно предположить, что под воздействием высоких давлений со стороны затвердевающей отливки смазка частично перетекает из микровпадин на поверхности микровыступов оснастки. Это, в свою очередь, позволяет уменьшить фактическую площадь контакта поверхностей, а следовательно, разделительное покрытие будет способствовать более легкому оттеснению материала отливки в момент его деформационного торможения.

С целью подтверждения либо опровержения возможности миграции смазки и, как следствие, облегчения съема отливки со стержня без образования задиров была проведена серия экспериментов, заключающихся в измерении электрического сопротивления на границе раздела отливка-стержень в момент заливки и затвердевания сплава.

Расплавленный металл (сплав АК12М2) заливали в прогретый до температуры 200 °С и установленный на стенде алундовый тигель. Температура заливки металла составляла 620 °С. Через отверстие в крышке в тигель проставляли стальной стержень, к которому крепилась клемма измерительной схемы. Перед установкой стержень обезжировали и прогревали в сушилке до температуры 250 °С. Вторую клемму подсоединяли к стальной пластине, которая также устанавливалась в тигель. При заливке металла и его кристаллизации происходило обжатие стержня, вызывающее изменения в состоянии смазки и приводящие к изменению сопротивления на границе раздела стержень-отливка. Это фиксировалось с помощью микропроцессорного программ-мируемого устройства сбора и обработки информации ICD (в дальнейшем – устройства) и измерительной схемы. Полученные данные по изменению сопротивления в зоне контакта отливки и стержня представлены на рис. 4 и 5.

Видно, что при использовании несмазанного стержня (см. рис. 4) сопротивление вначале снижается, что обусловлено увеличением площади контакта при заполнении тигля расплавом. Достигнув значения 2000 мОм, сопротивление немного возрастает, а затем плавно снижается.

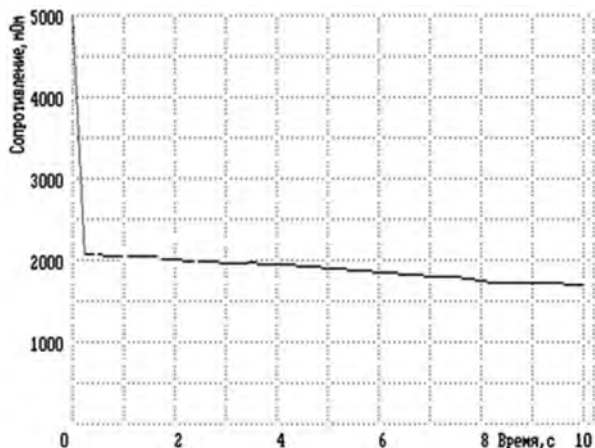


Рис.4. Изменение сопротивления в зоне контакта отливки и стержня без использования разделительного покрытия

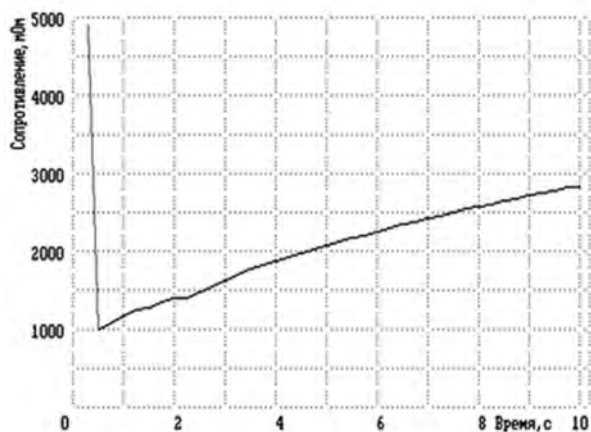


Рис.5. Изменение сопротивления в зоне контакта отливки и стержня при использовании разделительного покрытия

Наличие существенного сопротивления на границе отливка – стержень в первом случае обусловлено окислением поверхности стержня, а снижение сопротивления – увеличением площади контакта на поверхности раздела отливка – стержень в результате усадки сплава.

Снижение сопротивления практически до 1000 мОм на границе раздела во втором случае, очевидно, обусловлено созданием восстановительной атмосферы в результате деструкции компонентов смазки.

Повышение сопротивления при дальнейшей выдержке отражает продолжающиеся процессы миграции слоя смазки, вытесненного из микронеровностей на поверхности стержня по границе раздела стержень-отливка, что обусловлено усадкой отливки при ее охлаждении (см. рис.5).

Выполненные результаты компьютерного моделирования подтверждают проведенные экспериментальные исследования по изучению возможности миграции смазки в момент затвердевания отливки. Расчеты показали, что в случае присутствия разделительной среды разделение контактирующих поверхностей при угле стержня 1° происходит на длине участка при шероховатости литейной оснастки $0,32 Ra - 34$ мкм; $0,63 Ra - 52$ мкм. При угле стержня 2° для $0,32 Ra$ на участке, равном $19,7$ мкм; $0,63 Ra - 36,4$ мкм. Если угол стержня составляет 3° , то для $0,32 Ra$ разделение поверхностей происходит на длине в $14,2$ мкм; $0,63 Ra - 23,1$ мкм

На рис. 6, 7 показан вид рабочей поверхности стержня, полученной после нанесения и без нанесения разделительного покрытия.



Рис. 6. Вид рабочей поверхности стержня с использованием разделительного покрытия



Рис. 7. Вид рабочей поверхности без использования разделительного покрытия

Выводы

1. Установлено, что при съеме отливки со стержня разделение контактирующих поверхностей зависит от величины технологического уклона стержня, его класса шероховатости и наличия разделительной среды. Наличие разделительного покрытия на поверхности технологической оснастки снижает в среднем длину участка, на котором происходит разделение контактирующих поверхностей более чем в 2 раза.

2. Показано, что смазывание технологической оснастки разделительными покрытиями снижает вероятность образования задиров на поверхности отливки и технологической оснастки, за счет пластического оттеснения и последующего проскальзывания по поверхности стержня затекшего в микровпадины оснастки металла в момент удаления отливки из пресс-формы.

Список литературы

1. Зеленов В.Н., Кисиленко Л.Е. Смазка для форм литья под давлением. – М.: Машиностроение, 1983. – С. 12–18.
2. Пушмашёв П.И., Зубакин А.М. Определение усилия извлечения стержня из отливки, получаемой литьём под давлением // Литейное производство. – 1975. – №12. – С. 22–23.
3. Михальцов А.М., Пивоварчик А.А., Бежок А.П. Контактные процессы на границе раздела стержень-отливка при литье под давлением алюминиевых сплавов // Литье и металлургия. – 2009. – №4. – С. 48 – 54.
4. Шероховатость поверхности термины и определения: ГОСТ 25142–82. – Введ. 01.01.83. – М.: Государственный Комитет СССР по стандартам, 1982. – С. 3–4.
5. Михальцов А.М., Пивоварчик А.А. Исследование газотворной способности материалов, используемых при разработке разделительных покрытий для пресс-форм литья алюминиевых сплавов под давлением // Литье и металлургия. – 2012. – № 2. – С. 43–45.