

The features of structure formation and mechanical properties of the rounds in diameter from 25 to 56 mm of continuous casting steel 45 was investigated

Поступила 30.03.11

УДК 621.74.021

**А. М. Михальцов, А. А. Пивоварчик, С. П. Задруцкий, В. А. Розум, И. Г. Либерг*,
В. П. Каргинов****

Белорусский национальный технический университет, Минск

*ООО «Комплекс Плюс», Харьков

**ООО «Союз», Днепропетровск

Противозадирные свойства смазок при литье под давлением алюминиевых сплавов

Приведены результаты по исследованию влияния смазки и шероховатости поверхности оснастки на процесс разделения контактирующих поверхностей на границе отливка-стержень при литье под давлением алюминиевых сплавов.

Ключевые слова: смазка, литье под давлением, отливка, стержень, алюминиевые сплавы

Усилия, возникающие при выталкивании отливки из пресс-формы, обусловлены обжатием поверхностей, охватываемых отливкой в результате усадки сплава при его затвердевании и охлаждении. Принято считать [1, 2], что при выталкивании из пресс-формы отливка перемещается по охватываемым поверхностям (стержням). Сопротивление выталкиванию обусловлено наличием сил трения между отливкой и охватываемыми поверхностями.

Вместе с тем, осциллограммы процесса выталкивания отливки из пресс-формы, приведенные в работе [1], свидетельствуют о том, что съем отливки со стержня происходит одновременно, импульсно, если стержень установлен без перекосов и на его поверхности отсутствуют задиры.

Рассмотрим схему сил, действующих при удалении отливки со стержня, предложенную авторами работы [3] (рис. 1).

Условие равновесия сил, действующих при съеме отливки со стержня, спроектированных на горизонтальную ось, можно записать в следующем виде:

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

где P – усилие извлечения стержня из отливки; T – сила трения между отливкой и стержнем; F – реакция нормального давления со стороны отливки, вызванная усадкой сплава; β – литейный уклон стержня.

Если предположить, что у стержня идеально

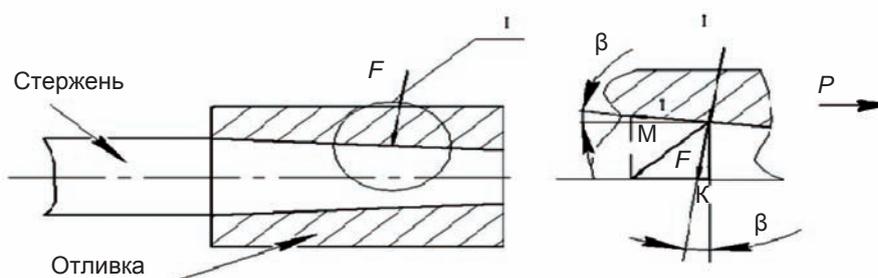


Рис. 1.

Схема сил, действующих при удалении отливки со стержня

гладкая поверхность, а сила трения T между отливкой и стержнем стремится к нулю, то

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

то есть, при усадке сплава под действием реакции нормального давления F возникает усилие, способствующее съему отливки со стержня. Наличие уклона β на гладкой поверхности стержня приводит к тому, что усилие T , обусловленное трением и возникающее при съеме отливки со стержня в начальный момент, в дальнейшем должно стремиться к нулю. Это положение подтверждает элементарный расчет. При уклоне стержня в 1° и перемещении отливки на $0,1$ мм между отливкой и стержнем образуется зазор, равный $1,7$ мкм. При уклоне в 3° величина зазора при том же перемещении отливки относительно стержня возрастает до $5,1$ мкм, то есть произойдет разделение поверхностей. В отсутствие контакта поверхностей усилие, обусловленное их трением, равно нулю. Однако возникающее усилие $F \sin \beta$ намного меньше силы трения T между отливкой и стержнем. При этом величина силы трения T будет зависеть, в первую очередь, от шероховатости поверхности стержня.

Согласно ГОСТ 2789-73 [4], шероховатость поверхности определяется ограниченной последовательностью мельчайших выступов и впадин, расположенных на небольшом участке ($0,1-25,0$ мм) и представляет собой совокупность неровностей с относительно малыми шагом ($0,002-12,50$ мм) и высотой ($0,025-1600$ мкм). Существует 14 классов чистоты поверхности. Каждому из них соответствует определенное среднеарифметическое отклонение профиля от средней линии.

В работах [5, 6] отмечается, что коэффициент трения при контакте металлических поверхностей находится в пределах от $0,05$ до $0,80$. При литье под давлением для расчета усилий удаления стержня из отливки коэффициент трения принимают [7] равным $0,20-0,25$. Однако при этом не учитывают шероховатость поверхности стержня, уклоны и размеры трущихся поверхностей.

Возможное влияние шероховатости поверхности стержня и величины уклона на изменение коэффициента трения между стержнем и отливкой оценивали, изучая типовые профилограммы опорных поверхностей, снятые с эталонных образцов для

7 ($R_a=1,25$ мкм), 8 ($R_a=0,63$ мкм) и 9-го ($R_a=0,32$ мкм) классов чистоты поверхности. Под опорной поверхностью понимаем поверхность, построенную с учетом поперечной и продольной шероховатости. На рис. 2 представлены профили опорных поверхностей для данных классов чистоты.

Выбор представленных профилей обусловлен,

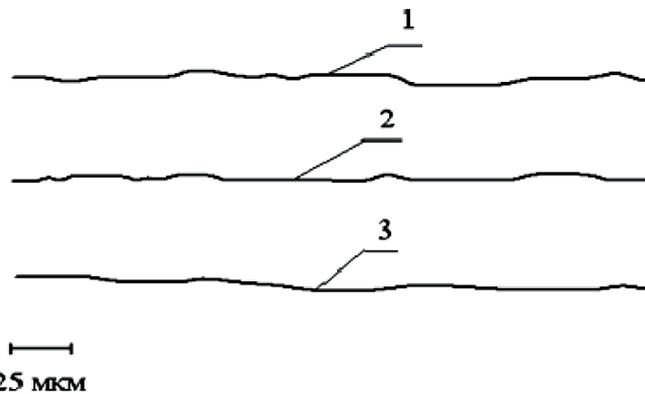


Рис. 2. Профилограммы опорных поверхностей с одинаковым горизонтальным и вертикальным увеличением ($\times 2000$), полученные на профилографе Калибр-ВЭИ [8]: грубое, 7-й класс (1); среднее, 8-й класс (2); тонкое, 9-й класс (3) шлифование

прежде всего, тем, что шероховатость поверхностей пресс-форм, включая стержни, обычно закладывается на уровне 9-го класса чистоты поверхности ($R_a=0,32$ мкм). В реальных условиях выдержать заложенные параметры не всегда удается, 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 нем 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 отливки и стержня.

При съеме 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 съема образуются зоны возможного взаимного пересечения и свободные зоны (рис. 3). Зоны возможного взаимного пересечения профилей

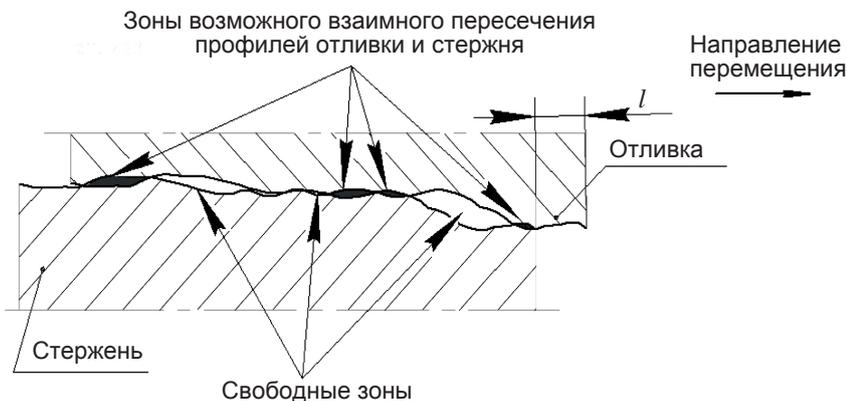
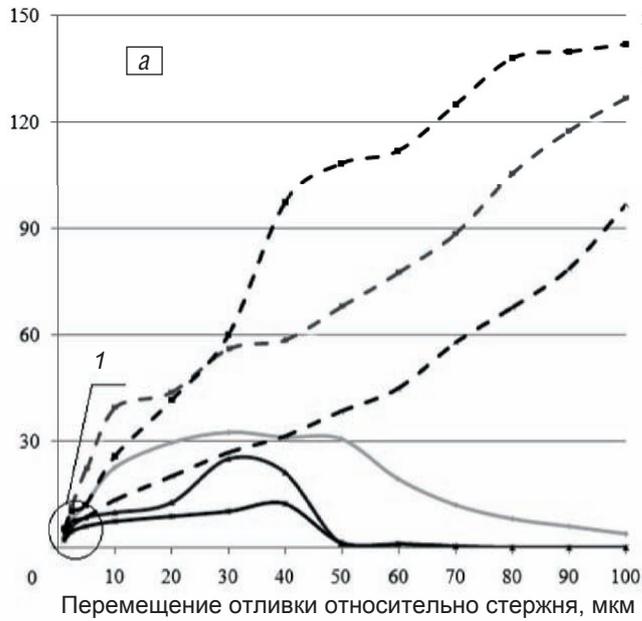
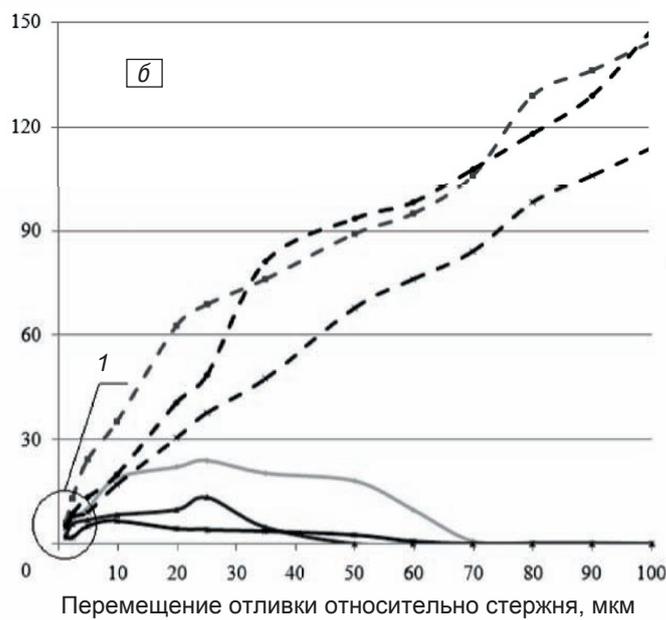


Рис. 3. Схема образования зон возможного взаимного пересечения профилей и свободных зон (зазоров) при перемещении отливки относительно стержня (фрагмент)

Площадь зон взаимного пересечения профилей отливки и стержня, свободных зон, мкм^2



Площадь зон взаимного пересечения профилей отливки и стержня, свободных зон, мкм^2



Площадь зон взаимного пересечения профилей отливки и стержня, свободных зон, мкм^2

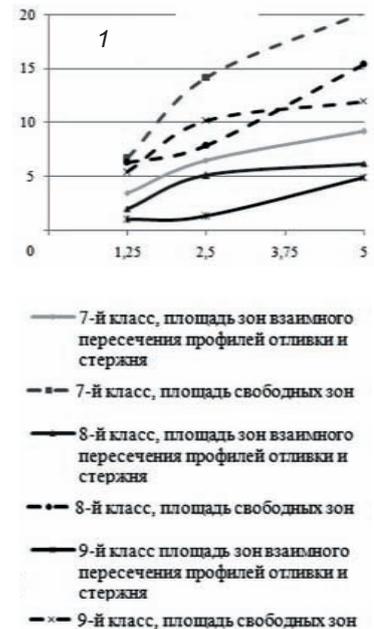
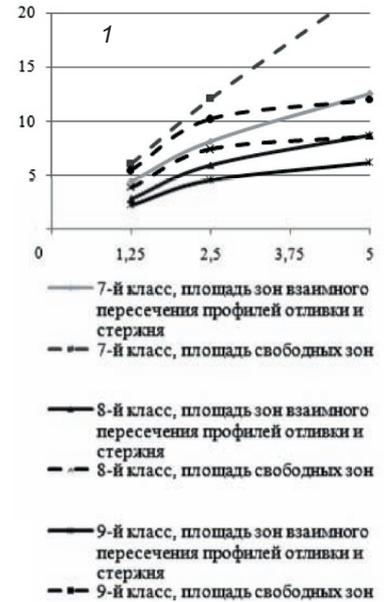
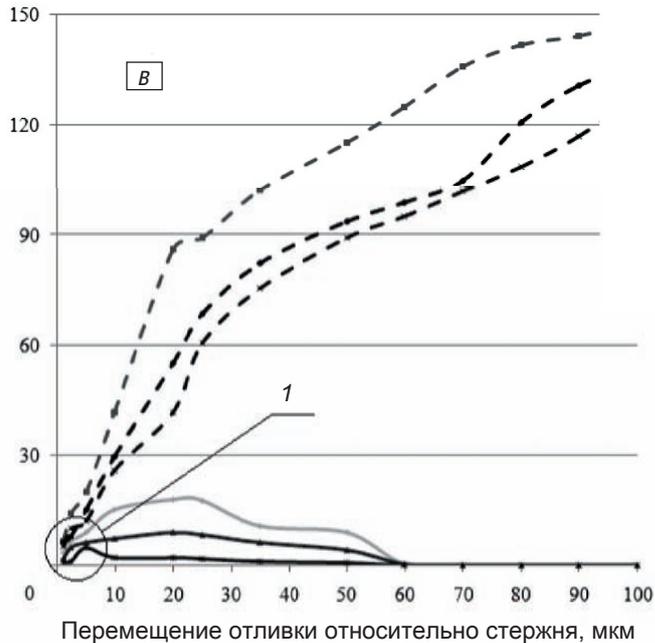


Рис. 4. Влияние перемещения отливки относительно стержня на изменение площадей зон взаимного пересечения профилей и свободных зон при угле стержня: 1° (а); 2° (б); 3° (в)

отливки и стержня будут отвечать за торможение отливки на стержне, то есть будут создавать усилие T , которое необходимо преодолеть при ее съеме. Чем больше площадь зон взаимного пересечения отливки и стержня, тем выше усилие, которое необходимо приложить для съема отливки.

Изменение площади зон взаимного пересечения при перемещении отливки относительно стержня для различных значений шероховатости поверхностей стержня и уклона относительно оси перемещения приведены на рис. 4, а-в. Видно, что площадь зон взаимного пересечения, при перемещении отливки относительно стержня возрастает до значений 20-25 мкм, после чего наблюдается их уменьшение. Площадь свободных зон при перемещении отливки относительно стержня возрастает интенсивнее и, в любой момент времени, превышает площадь зон взаимного пересечения. Следовательно, при перемещении отливки по поверхности стержня на величину до 100 мкм площадь зон взаимного пересечения профилей, в зависимости от величины, уклона стремится к нулю. То есть, в этот момент происходит полное разделение профилей отливки и стержня. При увеличении шероховатости поверхности стержня от $0,32 R_a$ до $1,25 R_a$ 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. Так, при угле стержня на 1° разделение поверхностей происходит на длине участка в 100 мкм, при угле на 2° – 70-80 мкм, а при угле на 3° – 50-60 мкм.

Срезание материала отливки в зонах взаимного пересечения будет происходить в том случае, если возникающие при торможении усилия превысят предел прочности сплава при данной температуре [5, 9]. До этого момента, очевидно, будет происходить упругое или пластическое отеснение материала отливки по микровыступам поверхности стержня в образующиеся свободные зоны.

Переход от упругого отеснения материала к пластическому наступает тогда, когда напряжение на контакте превысит значение [10, 11]

$$c\sigma_T \approx H_m,$$

где c – коэффициент упрочнения за счет наклепа; H_m – твердость материала.

Для цветных сплавов (несмазанных поверхностей) данное условие выполняется при соотношении $a/R=0,1-0,2$, где a – глубина внедрения материала; R – радиус внедрившейся поверхности.

Если на поверхности пресс-формы присутствует разделительная среда (смазка), то целесообразно рассмотреть три возможных варианта: смазка заполняет микронеровности до максимальной высоты выступов; смазка частично смыта, но заполняет микронеровности профиля до какой-то величины; смазка полностью удалена с поверхности пресс-формы.

Если толщина смазочного слоя находится на уровне высоты максимальных выступов на поверхности

стержня, то есть реализуется вариант 1, то происходит гидродинамическое трение, условие которого наиболее благоприятно для литья под давлением, так как поверхности отливки и стержня не будут касаться друг друга. Разделение поверхностей происходит спокойно, без образования задира.

Однако практика литья под давлением показывает, что в силу специфических особенностей процесса достаточно трудно обеспечить гидродинамический режим трения. Это связано, в первую очередь, с тем, что интенсивность теплового и механического воздействий струи жидкого металла на различные участки поверхности пресс-формы сильно различается.

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.

На участках поверхности пресс-формы, подвергшихся менее интенсивному воздействию, возможно сохранение смазочного слоя по второму варианту, на некоторых участках – по третьему. То есть при изготовлении одной отливки на отдельных участках пресс-формы можно использовать все три варианта. При возникновении второго варианта возможны граничный режим трения в сочетании с гидродинамическим. В случае реализации третьего варианта будет присутствовать сухое трение с возможностью срезания образовавшегося профиля отливки поверхностью стержня (как было показано выше). При последующих запрессовках в указанных местах происходит накопление материала отливки, то есть образуется задира (рис. 5, а). Одним из главных факторов образования задиры является локальный перегрев поверхности стержня.

При литье смазка уменьшает глубину затекания металла в микровпадины стержня. В результате параметр a уменьшается, а радиус R внедрившейся поверхности увеличивается. Это создает благоприятные условия для пластического отеснения металла. Следовательно, если на поверхности стержня присутствует разделительная среда (рис. 5, б), то в процессе удаления затекший в микронеровности стержня материал отливки при последующем ее перемещении по поверхности стержня будет не



а



б

Рис. 5. Вид рабочей поверхности стержня: без использования (а), с использованием (б) смазки

срезаться, а оттесняться за счет пластической деформации материала. Оттеснение затекшего во впадины алюминия сопровождается перетеканием металла по поверхности впадины с дальнейшим проскальзыванием сминаемого материала отливки по микронеровностям на поверхности стержня. При этом сминаемый материал отливки оттесняется в свободные зоны, которые возникают благодаря появлению пустот, образующихся за счет литейного уклона стержня. Оттеснение затекшего металла будет происходить до тех пор, пока величина зазора между отливкой и стержнем не превысит размеров максимальных выступов на поверхности стержня. В дальнейшем отливка просто срывается со стержня.

Полной деструкции продуктов смазки на поверхности пресс-формы после заливки расплава не происходит вследствие дефицита кислорода и кратковременности цикла [12]. На границе раздела отливка-стержень смазка присутствует в пароконденсированном состоянии и тем самым создает парожидкостный промежуточный слой, который препятствует затеканию расплава в микронеровности на поверхности стержня. По мнению авторов работы [13] при данных условиях поведение смазки следует рассматривать как поведение ньютоновской жидкости, при котором смазочный слой способен противостоять высоким давлениям, не меняя своего объема, а только вязкость. Можно предположить, что под воздействием высоких давлений со стороны расплава смазка частично перетекает из микровпадин на поверхность микровыступов. Это позволяет уменьшить фактическую площадь контакта поверхностей, следовательно, разделительное покрытие будет способствовать более легкому оттеснению материала отливки в момент его деформационного торможения.

С целью подтверждения либо опровержения возможности миграции смазки в момент затвердевания отливки была проведена серия экспериментов, методика проведения которых заключалась в измерении электрического сопротивления на границе раздела отливка-стержень в момент заливки и затвердевания сплава.

Расплавленный металл (сплав АК12М2) заливали в алундовый тигель, прогретый до температуры 250 °С и установленный на стенде. Температура заливки металла составляла 620 °С. Через отверстие в крышке тигля в кокиль вставляли 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, которое приводило к изменениям в состояниях смазки и сопротивления на границе раздела стержень-отливка. Это фиксировалось с помощью микропроцессорного программируемого устройства сбора и обработки информации ICD (в дальнейшем – устройства, рис. 6) и измерительной схемы. Устройство включается в режим сбора информации и в течение 20 с (через каждые 0,4 с) проводит



Рис. 6. Общий вид прибора для измерения сопротивления в зоне контакта отливки и стержня

измерения сопротивления контакта между отливкой и вставкой с записью результатов в оперативную память контроллера. По истечении заданного времени устройство завершает измерения, а полученный массив данных переписывается в энергонезависимую память, у которой достаточный объем для хранения до 20-ти массивов данных одновременно, поэтому по завершению очередного сбора информации устройство готово к проведению следующего цикла измерений. После окончания работ содержимое энергонезависимой памяти передается через COM-порт в персональный компьютер, в котором строятся графики изменения сопротивления контакта во времени.

Для сравнения вначале были выполнены эксперименты с использованием несмазанного стержня, а затем с использованием смазки.

Полученные данные по изменению сопротивления в зоне контакта отливки и стержня представлены на рис. 7, а, б.

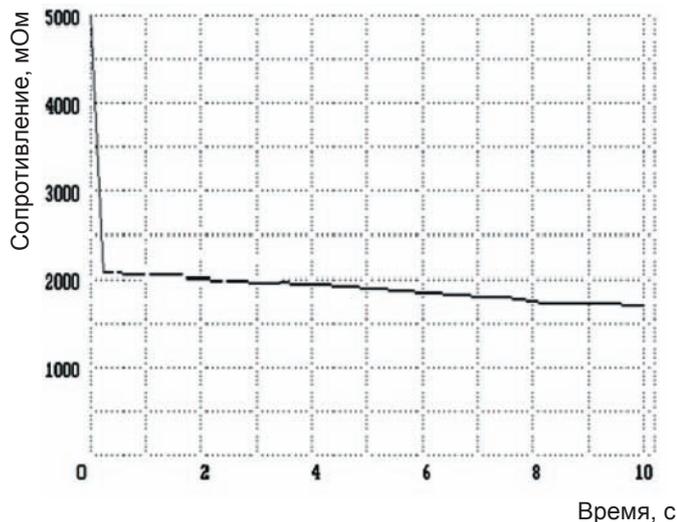
Видно, что при использовании несмазанного стержня (рис. 7, а) сопротивление сначала снижается, что обусловлено увеличением площади контакта при заполнении кокиля расплавом. Достигнув значения 2000 мОм, сопротивление немного возрастает, а затем плавно снижается.

При использовании смазанного стержня сопротивление уменьшается в процессе заливки до 1000 мОм, а затем начинает повышаться (рис. 7, б).

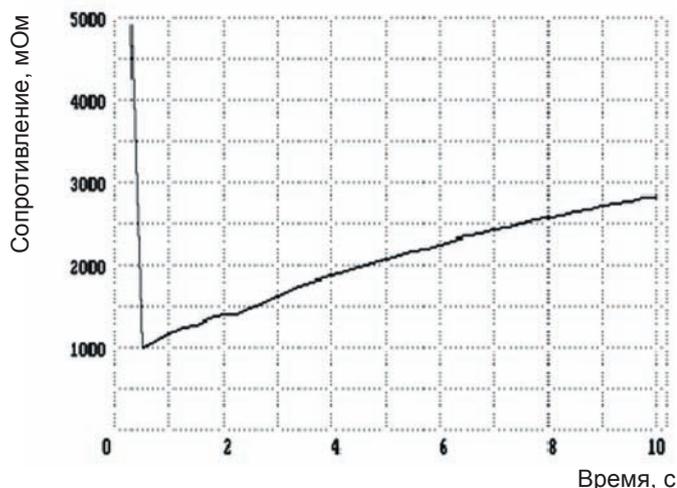
Наличие существенного сопротивления на границе отливка-стержень в первом случае обусловлено окислением поверхности стержня под действием температуры расплава, а снижение сопротивления – увеличением площади контакта на поверхности раздела отливка-стержень в результате усадки сплава.

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 деструкции смазочного слоя. Вероятно, это происходит за счет выдавливания слоя смазки из микронеровностей на поверхности стержня, обусловленного усадкой отливки при ее охлаждении.

Наличие существенного сопротивления на границе отливка-стержень в первом случае обусловлено



а



б

Рис. 7. Изменение сопротивления в зоне контакта отливки и стержня: без использования смазки (а); с использованием смазки (б)

окислением поверхности стержня под действием температуры расплава, а снижение сопротивления — увеличением площади контакта на поверхности раздела отливка-стержень в результате усадки сплава. Снижение сопротивления практически до нуля на границе раздела во втором случае обусловлено созданием восстановительной атмосферы в результате деструкции компонентов смазки, а повышение при дальнейшей выдержке — продолжающимися процессами деструкции смазочного слоя. Это происходит за счет создания промежуточного парожидкостного слоя между отливкой и стержнем, который препятствует свободной усадке сплава, то есть обжатию расплавом поверхности стержня.

Таким образом, наличие смазки на поверхности пресс-формы в момент затвердевания и охлаждения отливки способствует уменьшению поверхности контакта отливка-форма за счет распространения смазки.

В работах Б. В. Дерягина [14], исследовавшего контактные явления при трении поверхностей, отмечается, что после нанесения на поверхность оснастки разделительное покрытие растекается по ней и скапливается в углублениях и микроканавках.

Если на поверхности оснастки присутствует некоторое количество разделительного покрытия, то при пластическом оттеснении, вызванном скольжением индентера, перед ним бежит волна пластически деформируемого металла. При этом отдельные частицы материала вначале перемещаются вверх, а потом опускаются вниз (после прохождения индентера). Это условие выполняется при $a/R = 0,5-0,6$. Царапины и задиры на поверхности металла при этом соотношении не образуются.

Аналогичные явления очевидно протекают в начальный момент перемещения более мягкой отливки относительно более твердого стержня при литье под давлением.

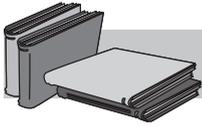
Следует также учесть [15], что предел прочности алюминия σ_B почти в 1,5 раза выше предела текучести σ_T . Следовательно, материал отливки первоначально склонен к пластической деформации, то есть смятию и оттеснению, а не разрушению.

Промышленное изготовление разделительных покрытий, обладающих оптимальными характеристиками для облегчения съема и получения качественных отливок, освоено на предприятии ООО «ПромФильтр» (г. Минск, Беларусь).

Выводы

При съеме отливки со стержня разделение контактирующих поверхностей зависит от величины уклона поверхностей и их шероховатости. При угле поверхности стержня на 3° и шероховатости стержня на $0,32 R_a$ разделение поверхностей происходит на длине 35 мкм (0,035 мм). При уменьшении уклона стержня до 1° и увеличении его шероховатости до $1,25 R_a$ длина участка, на котором происходит полное разделение профилей поверхностей, возрастает до 100 мкм (0,1 мм). То есть смазка работает на небольшом участке перемещения отливки относительно стержня. Поэтому главным ее достоинством в этом случае является термостойкость как возможность ее сохранения на поверхности пресс-формы.

Установлено, что в момент затвердевания и охлаждения отливки происходит уменьшение поверхности контакта отливки и стержня за счет распространения смазки, обусловленное повышением давления при его нагреве в замкнутом объеме. Компоненты смазки должны обладать достаточно высокой термостойкостью во избежание значительного разрушения в момент заполнения формы жидким расплавом.



ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленов В. Н. Смазка для форм литья под давлением. – М.: Машиностроение, 1983. – С. 12-18.
2. Белопухов А. К. Технологические режимы литья под давлением. – М.: Машиностроение, 1985. – С. 108-109.
3. Пушмашев П. И. Определение усилия извлечения стержня из отливки, получаемой литьем под давлением / Литейн. пр-во. – 1975. – № 12. – С. 22-23.
4. Шероховатость поверхности, термины и определения: ГОСТ 25142–82. – М.: Государственный Комитет СССР по стандартам, 1982. – С. 3-4.
5. Крагельский И. В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
6. Крагельский И. В. Коэффициенты трения. – М.: Машиностроение, 1962. – 213 с.
7. Комбалов В. С. Оценка триботехнических свойств контактирующих поверхностей. – М.: Наука, 1983. – С. 39.
8. Дьяченко П. Е. Качество поверхности при обработке металлов резанием. – М.: МАШГИЗ, 1951. – 207 с.
9. Печенкин В. Л. Противозадирное действие смазок при литье под давлением // Литейн. пр-во. – 1981. – № 10. – С. 16-17.
10. Алисин В. В. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. – М.: Машиностроение, 1978. – 400 с.
11. Гриб В. В. Лабораторные испытания материалов на трение и износ. – М.: «Наука» АН СССР, 1968. – 141 с.
12. Храмов С. С. Разработка, исследование и внедрение водных разделительных смазок в литье под давлением алюминиевых сплавов. – Горький: ГПИ им. А. А. Жданова, 1979. – С. 5-7.
13. Рыжиков А. А. О смываемости смазочных покрытий форм литья под давлением // Литейн. пр-во. – 1982. – № 7. – С. 26-27.
14. Дерягин Б. В. О влиянии микрогеометрии поверхности твердого тела на смачивание: трение и износ в машинах // Тр. II Всесоюзной конференции по трению и износу в машинах. Доклады. – Л.: АН СССР, 1947. – Т. I. – С. 74-77.
15. Туманов А. Т. Алюминий. – М.: Металлургия, 1972. – 289 с.

Анотація

*Михальцов О. М., Пивоварчик О. А., Задрецкий С. П., Розум В. О.,
Ліберг І. Г., Каргінов В. П.*

**Протизадирні властивості мастил при литті під тиском
алюмінієвих сплавів**

Наведено результати дослідження впливу мастила і шорсткості поверхні оснащення на процес розділення контактуючих поверхонь на межі виливок-стрижень при литті під тиском алюмінієвих сплавів.

Ключові слова

мастило, лиття під тиском, виливок, стрижень, алюмінієві сплави

Summary

Mikhailtsov A., Pyvovarchyk A., Zadrutsky S., Rozum V., Leaberg I., Karginov V.
Extreme pressure properties of lubricants under die casting aluminum alloys

The results on the effect of lubrication and equipment surface roughness on the separation of contacting surfaces at the casting-rod interface for injection molding of aluminum alloys are given.

Keywords

lubrication, injection molding, casting, rod, aluminum alloys

Поступила 05.03.10