



As a result of investigations the mechanism of scoring on the surface of production accessories at casting under pressure of aluminium alloys is studied.

А. М. МИХАЛЬЦОВ, А. А. ПИВОВАРЧИК, А. П. БЕЖОК, БНТУ

УДК 621.74.021

КОНТАКТНЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА СТЕРЖЕНЬ–ОТЛИВКА ПРИ ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

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 поверхности охватываемых поверхностей (стержня) и 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 одномоментно, 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, запишем 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 – ре-

акция нормального давления со стороны отливки, вызванная усадкой сплава; β – литейный уклон стержня.

Если предположить, что стержень будет иметь идеально гладкую поверхность, а сила трения между отливкой и стержнем T будет стремиться к нулю, то:

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

т. е. при усадке сплава под действием реакции нормального давления F возникает усилие, способствующее съему отливки со стержня. А 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, должно стремиться в дальнейшем к нулю. Это положение подтверждает элементарный расчет. 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. произойдет разделение поверхностей. В отсутствие контакта поверхностей усилие, обусловленное их трением, равно нулю. Однако возникающее усилие $F \sin \beta$

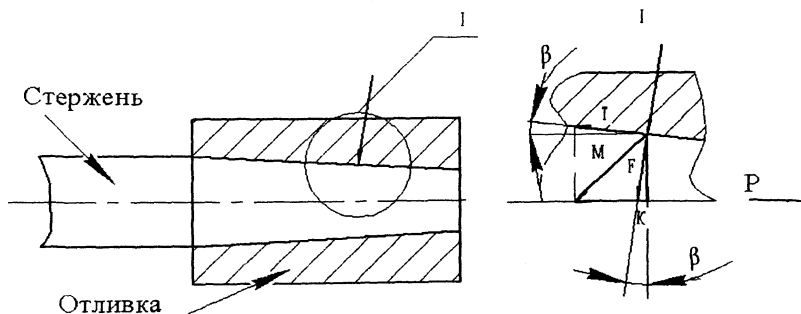


Рис. 1. Схема сил, действующих при удалении отливки со стержня

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 мм), и представляет собой совокупность неровностей с относительно малым шагом (0,002–12,5 мм) и высотой (0,025–1600 мкм). Существует 14 классов чистоты поверхности. Каждому из них соответствует определенное среднearифметическое отклонение профиля от средней линии.

В работах [5, 6] отмечается, что коэффициент трения при контактировании металлических поверхностей лежит в пределах 0,05–0,8. Для случая литья под давлением при расчете усилий удаления стержня из отливки коэффициент трения предлагается [7] принимать равным 0,2–0,25. Однако при этом не учитывают шероховатость поверхности стержня, уклонов на трущихся поверхностях.

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

Выбор приведенных профилей обусловлен 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,

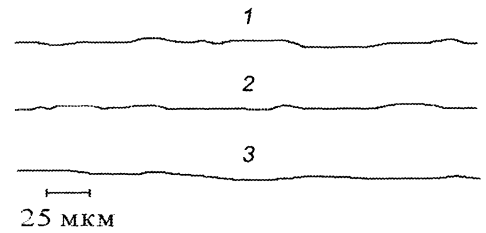


Рис. 2. Профилограммы опорных поверхностей с одинаковым горизонтальным и вертикальным увеличением ($\times 2000$), полученные на профилографе Калибр-ВЭИ [8]: 1 – шлифование грубое, 7-й класс; 2 – шлифование среднее, 8-й класс; 3 – шлифование тонкое, 9-й класс

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 пересечения и свободные зоны (рис. 3). 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 ее съеме. Чем больше площадь зон взаимного пере-

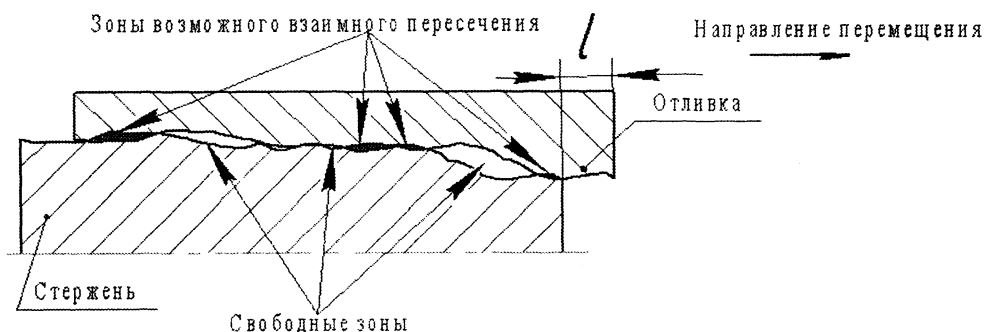


Рис. 3. Схема определения площадей зон возможного взаимного пересечения профилей и свободных зон (зазоров)

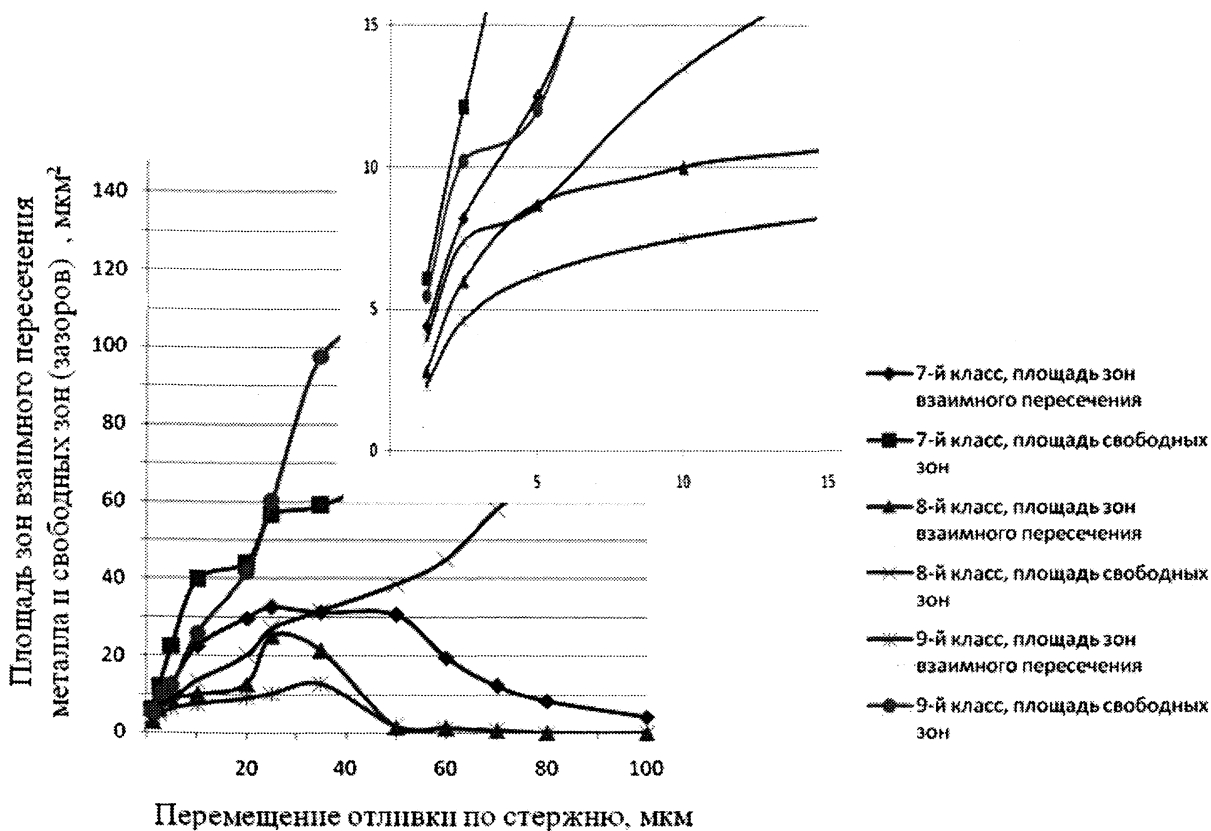


Рис. 4. Влияние перемещения отливки относительно стержня на изменение площадей зон взаимного пересечения и свободных зон (зазоров) при угле стержня 1°

сечения отливки и стержня, тем выше усилие, которое необходимо приложить для съема отливки.

Изменения площади зон взаимного пересечения при перемещении отливки относительно стержня для различных значений шероховатости поверхностей стержня и уклонах относительно оси перемещения приведены на рис. 4–6.

Из рисунков видно, что площадь зон взаимного пересечения возрастает при перемещении отливки относительно стержня на 20–25 мкм, после чего наблюдается их уменьшение. При перемещении на величину 50–100 мкм площадь зон взаимного пересечения в зависимости от величины уклона стремится к нулю, т. е. в этот момент происходит полное разделение профилей отливки и стержня.

Площадь свободных зон при перемещении отливки относительно стержня возрастает интенсивней и в любой момент времени превышает площадь зон взаимного пересечения.

При увеличении шероховатости поверхности стержня от 0,32 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 1° разделение поверхностей происходит на длине участка в 100 мкм, при угле 2° – в 70–80 мкм, а при угле 3° – в промежутке 50–60 мкм.

Срезание материала отливки в зонах возможного 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 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; σ_T – предел текучести материала.

Для цветных сплавов и несмазанных поверхностей данное условие выполняется при соотношении $a/R = 0,1–0,2$ (рис. 7), где a – глубина внедрения материала; R' – радиус внедрившейся поверхности.

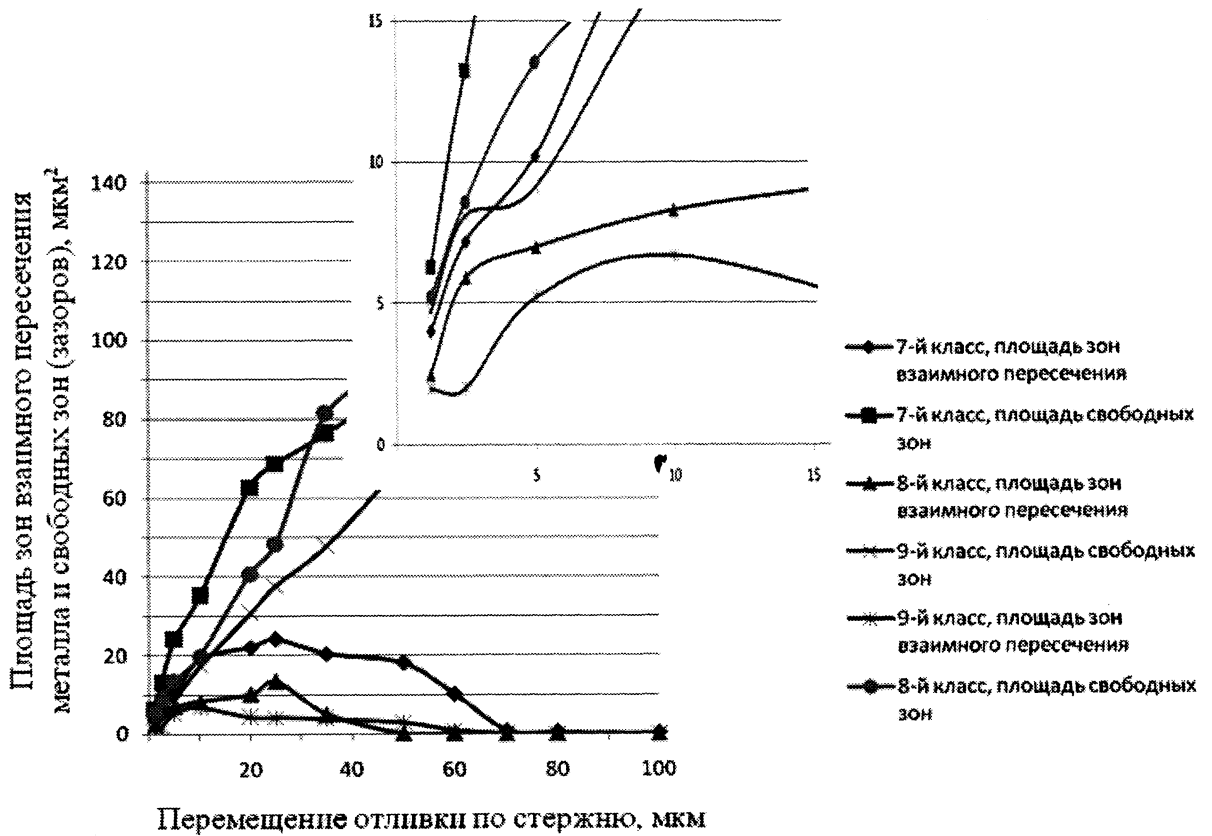


Рис. 5. Влияние перемещения отливки относительно стержня на изменение площадей зон взаимного пересечения и свободных зон (зазоров) при угле стержня 2°

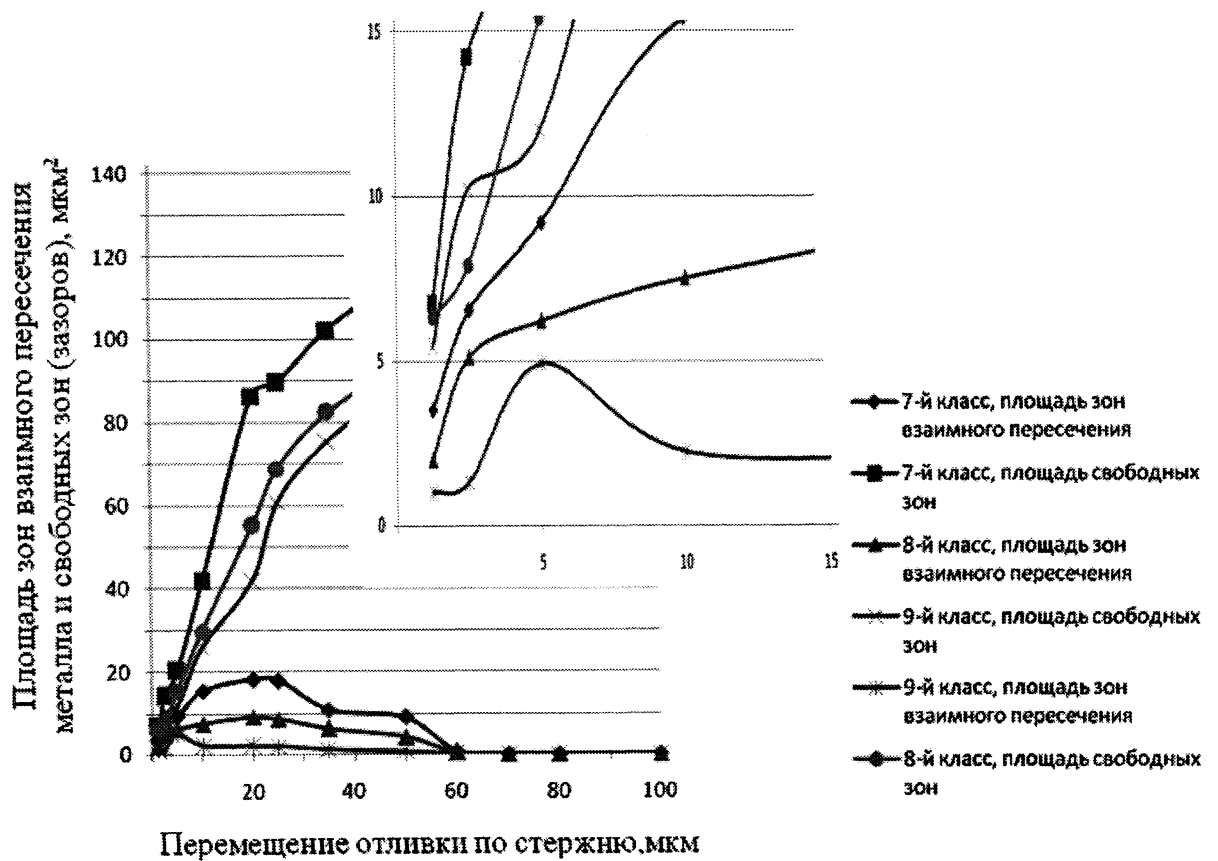


Рис. 6. Влияние перемещения отливки относительно стержня на изменение площадей зон взаимного пересечения и свободных зон (зазоров) при угле стержня 3°

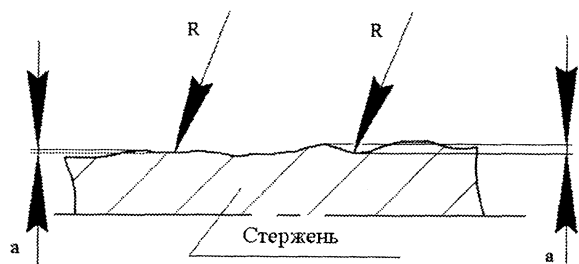


Рис. 7. Поверхность технологической оснастки без присутствия смазки

Если на поверхности пресс-формы присутствует разделительная среда – смазка, то целесообразно рассмотреть три возможных варианта:

- 1) смазка заполняет микронеровности до максимальной высоты выступов;
- 2) смазка частично смыта, но заполняет микронеровности профиля до какой-то величины;
- 3) смазка полностью удалена 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. Условие гидродинамического трения наиболее благоприятно для литья под давлением, так как поверхность отливки и стержня не будут касаться друг друга и разделение поверхностей происходит спокойно, без образования задиров. 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 варианта 3.

На участках поверхности пресс-формы, подвергшихся менее интенсивному воздействию, возможно сохранение смазочного слоя по варианту 2, т. е. при изготовлении одной отливки на отдельных участках пресс-формы возможна реализация всех трех вариантов.

При возникновении варианта 2 возможен граничный режим трения в сочетании с гидродинамическим.

В случае реализации варианта 3 будет иметь место сухое трение с возможностью срезания образовавшегося профиля отливки поверхностью

стержня, как было показано выше. При последующих запрессовках в указанных местах происходит накопление материала отливки, т. е. образуется «задир». Одним из главных факторов образования «задира» является смыв смазки с поверхности стержня.

Полной деструкции продуктов смазки на поверхности пресс-формы после заливки расплава не происходит вследствие дефицита кислорода и кратковременности цикла [12]. При этом 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 работ [13], при данных условиях работы поведение смазки следует рассматривать как поведение ньютоновской жидкости, при котором смазочный слой способен противостоять высоким давлениям, не изменяя своего объема, а изменяя 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, а 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 экспериментов заключалась в измерении электрического сопротивления на границе раздела отливка–стержень в момент заливки и затвердевания сплава.

Расплавленный металл (сплав АК12М2) заливали в прогретый до температуры 250 °С и установленный на стенде алундовый тигель. Температура заливки металла составляла 620 °С. Через отверстие в крышке тигля в кокиль вставляли стальную стержень, к которому крепилась клемма измерительной схемы. Перед установкой стержень обезжиривали и прогревали в сушиле до температуры 250 °С. Вторую клемму подсоединяли к стальной пластине, которую также устанавливали 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 программируемого устройства сбора и обработки информации ICD (в дальнейшем устрой-

ства) и измерительной схемы. Устройство включается в режим сбора информации и в течение 20 с, через каждые 0,4 с, проводит 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. Энергонезависимая память имеет объем, достаточный для хранения до 20 массивов данных одновременно, поэтому по завершению очередного сбора информации устройство готово к проведению следующего цикла измерений. По завершению работ содержимое энергонезависимой памяти передается через СОМ-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 приведены на рис. 8, 9.

Из рисунков видно, что при использовании несмазанного стержня сопротивление вначале 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 нуля, а затем начинает повышаться (рис. 9).

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 нуля на границе раздела во втором случае вызвано, по нашему мнению, созданием восстановительной атмосферы в результате деструкции компонентов смазки. Повышение сопротивления при дальнейшей выдержке обусловлено продолжающимися процессами деструкции смазочного слоя. Вероятно, это происходит за счет создания между отливкой и стержнем промежуточного парожидкостного слоя, который препятствует контакту затвердевающей отливки с поверхностью 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 работе [14] отмечается, что после нанесения на поверхность оснастки разделительное покрытие растекается по ней и скапливается в основном в углублениях и микроканавках.

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

Очевидно, аналогичные явления протекают в начальный момент перемещения более мягкой отливки относительно более твердого стержня при литье под давлением.

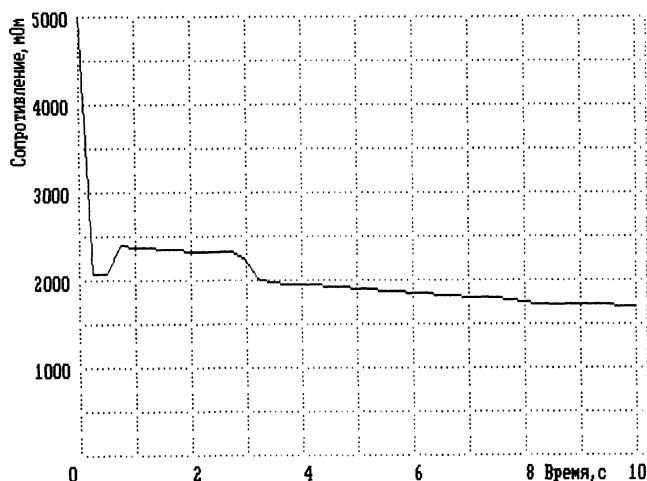


Рис. 8. Изменение сопротивления в зоне контакта отливки и стержня без использования смазки

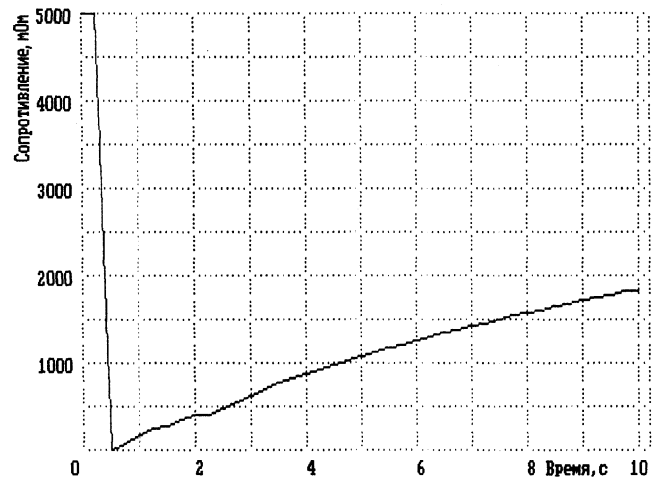


Рис. 9. Изменение сопротивления в зоне контакта отливки и стержня с использованием смазки

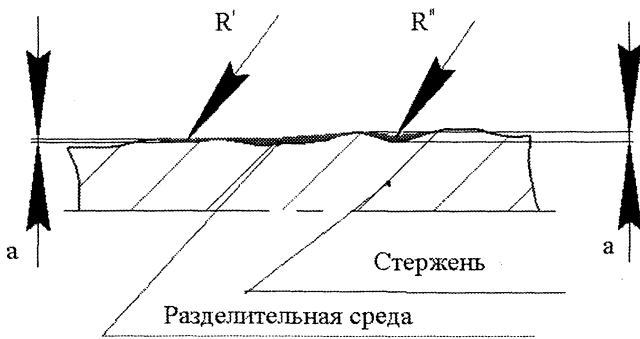


Рис. 10. Поверхность технологической оснастки со смазкой

Разделительное покрытие уменьшает глубину затекания металла в микровпадины стержня при литье. В результате параметр a уменьшается, а радиус внедрившейся поверхности R'' увеличивается (рис. 10). Это создает более благоприятные условия для пластического оттеснения металла. Следовательно, если на поверхности стержня присутствует разделительная среда, то при удалении отливки, затекший в микронеровности стержня материал отливки при перемещении отливки по поверхности стержня будет не срезаться, а оттесняться за счет пластической деформации материала (рис. 10). Оттеснение затекшего во впадины алюминия сопровождается перетеканием металла по поверхности впадины с дальнейшим проскаль-

зыванием сминаемого материала отливки по микронеровностям на поверхности стержня. При этом сминаемый материал отливки оттесняется в свободные зоны, которые возникают 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.

Следует учесть также [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, т. е. смятию и оттеснению, а не разрушению.

Выводы

1. Шероховатость поверхности стержня оказывает решающее влияние на величину усилий, необходимых для съема отливки со стержня.

2. Разделение поверхностей отливки и стержня происходит на длине до 0,1 мм благодаря наличию уклона на поверхности стержня.

3. Наличие смазки на поверхности стержня создает благоприятные условия для пластического оттеснения сплава и проскальзывания отливки по поверхности стержня.

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 // Литейное производство. 1975. № 12. С. 22–23.
4. ГОСТ 25142-82. Шероховатость поверхности. Термины и определения.
5. Крагельский И. В. Трение и износ. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1968.
6. Крагельский И. В. Коэффициенты трения. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1962.
7. Комбалов В. С. Оценка триботехнических свойств контактирующих поверхностей. М.: Наука, 1983.
8. Дьяченко П. Е. Качество поверхности при обработке металлов резанием. М.: Машгиз, 1951.
9. Печенкин В. Л. Противозадирное действие смазок при литье под давлением // Литейное производство. 1981. № 10. С. 16–17.
10. Алисин В. В. Трение, изнашивание и смазка: Справ. В 2-х кн. М.: Машиностроение, 1978. Кн. 1.
11. Гриб В. В. Лабораторные испытания материалов на трение и износ. М.: Изд-во «Наука» АН СССР, 1968.
12. Храмов С. С. Разработка, исследование и внедрение водных разделительных смазок в литье под давлением алюминиевых сплавов. Горький, 1979. С. 5–7.
13. Рыжиков А. А. О смываемости смазочных покрытий форм литья под давлением // Литейное производство. 1982. № 7. С. 26–27.
14. Дерягин Б. В. О влиянии микрогеометрии поверхности твердого тела на смачивание: Трение и износ в машинах // Тр. II Всесоюз. конф. по трению и износу в машинах. Т. I. Л.: АН СССР, 1947. С. 74–77.
15. Туманова А. Т. Алюминий. М.: Metallurgia, 1972.