



The article describes the basic methods of casting of antifriction aluminium-graphite alloys and their peculiarities.

*В. В. ОВЧИННИКОВ, УП "ММЗ", А. Т. ВОЛОЧКО,
А. П. ЛАСКОВНЕВ, Ж. Е. МАКАРОВА, ФТИ НАН Беларуси*

МЕТОДЫ ЛИТЬЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С ЧАСТИЦАМИ ГРАФИТА

УДК 621.762

В настоящее время в машиностроении в качестве деталей, работающих на трение, используют биметаллические вкладыши (сталь-алюминиевый сплав), монометаллические подшипники из бронз, латуней, детали из железо-графитовой керамики и др. Особую группу антифрикционных материалов занимают алюминиевые композиты с добавками твердых смазок (графит). Алюминиево-графитовые материалы, полученные методами литья, могут применяться главным образом в качестве подшипников, которые дешевле и легче изделий из названных выше материалов. К тому же они требуют меньшего расхода смазки. Так, алюминиево-графитовые материалы успешно используются в серийном производстве тракторов и автомобильной технике в качестве опорных втулок распределительного вала дизельных двигателей, втулок привода топливного насоса, подшипников насосов типа НШ и др. [1]. Отлитые из алюминий-графитового материала и в последующем деформированные в условиях всестороннего сжатия втулки балансира задней подвески автомобилей МАЗ проходят промышленные испытания. Изготовление поршней гильз и колец из алюминиевого сплава приводит к экономии топлива, снижает износ деталей [2]. Поршневые гильзы из алюминиевого сплава с кремнием и графитом заменили литые чугунные в мотоциклетных и автомобильных двигателях фирмы "Феррари". Алюминиево-графитовые материалы применяются для изготовления электроконтактных вставок [3].

В данной статье рассматриваются основные способы литья алюминиево-графитовых сплавов и их особенности. Исследования проводили с использованием матричных алюминиево-кремниевых сплавов АК12М2МгН эвтектического типа и доэвтектических сплавов АК5М4, АК5М7 с интервалом кристаллизации.

Проблема введения несмачиваемых частиц графита в расплав алюминия решена путем включения в технологическую схему быстрорастворимых порошковых алюминиево-графитовых лигатур, со-

держащих 8–20% частиц графита, до 2% оксидов алюминия, растворения лигатуры в расплаве и усвоения частиц при перемешивании. Оптимальным содержанием графита в сплаве с точки зрения высоких механических и антифрикционных свойств является 0,5–2%. В этих же пределах на 10–15% повышаются прочностные характеристики сплава [3].

При введении частиц графита в расплав и их усвоении первостепенное значение имеет устойчивость системы, так как в этом случае скорость коагуляции и всплытие частиц графита определяют качество материала. Введение в жидкий сплав частиц графита приводит к снижению его жидкотекучести. Однако путем изменения технологических параметров возможно применение одинаковых процессов при получении обычных и композиционных отливок. Так, например, жидкотекучесть сплава АК12М2МгН с 1,0–1,5% графита при температуре 700–720°C такая же, как и сплава без твердых частиц при температуре 660–680°C.

Выбор способа литья и литейной формы в конечном счете определяет качество отливки. При литье в кокиль важным фактором, влияющим на качество отливки, является скорость охлаждения. При литье в песчано-глинистые формы из-за длительности затвердевания графит концентрируется в верхней части отливки (ликвация по плотности). Этот метод применяется лишь при получении изделий, работающих на трение определенной поверхностью.

В наших исследованиях ставилась задача найти минимальную скорость охлаждения расплава со взвешенными частицами графита (размер частиц 80–200 мкм), обеспечивающую равномерность распределения графита, и влияние частиц на скорость затвердевания отливки. Исследования проводили на алюминиевом сплаве АК12М2МгН. Температура заливки 700–720 °С. Скорость охлаждения изменяли путем нагрева или охлаждения медного кокиля (внутренний диаметр 10–40 мм, высота 120 мм при толщине стенки до 100 мм).

Структуру и свойства изучали в верхней и нижней частях отлитого образца. Температуру в различных сечениях кокиля и расплава контролировали с помощью термопар и записывали на потенциометр.

Результаты исследований подтверждают сделанное предположение [4] о том, что частицы графита уменьшают скорость затвердевания отливки. При остывании отливки большое значение имеет отношение объема отливки к площади ее поверхности, называемое модулем отливки M . Добавки графита снижают коэффициент теплопередачи на границе раздела алюминиевый сплав - кокиль. С уменьшением модуля отливки влияние частиц графита более значительно (рис. 1). Очевидно, что частицы графита при заливке как бы экранизируют поток тепла.

Процесс затвердевания происходит при движении по радиусу от стенки кокиля внутрь с одновременным всплытием графитовых частиц вверх. В местах встречи фронта затвердевания графитовые частицы "вмерзают" в матричный металл. При этом скорость графитовой частицы радиусом r , движущейся в расплаве вязкостью μ , описывается формулой [4]:

$$v = \frac{2 \Delta P g r^2}{9 \mu}$$

где ΔP — разница плотностей графита и матричного сплава.

Изучение структуры алюминиевых сплавов с графитом указывает на то, что графит приводит к измельчению как эвтектического, так и первичного кремния, который зарождается в первую очередь на поверхности дисперсных включений. В [2] приведены данные, что средний размер эвтектических кристаллов в сплаве без графита и с 3% графита составляет соответственно 32 и 20 мкм.

Результаты исследований показывают, что для получения равномерного распределения графита

[5] необходима скорость охлаждения расплавленной массы не менее 30—40°С/с. Такие скорости охлаждения возможно получать при литье в металлические кокили небольших размеров или же другие охлаждаемые формы. Для качественного заполнения формы алюминиевый материал перед заливкой требует перегрева. С повышением температуры алюминиевого расплава алюминий вступает во взаимодействие с материалами формы — стойкость инструмента снижается.

Для формования изделий был опробован метод центробежного литья, при котором неметаллические частицы, выполняющие роль смазки, микропоры, концентрируются на внутренней рабочей поверхности.

Содержание графита на внутренней поверхности в количестве 4—5% может быть вполне допустимо с точки зрения высоких антифрикционных свойств, механической прочности подшипника и по мере удаления от рабочей поверхности подшипника на 5—10 мм может уменьшаться в 1—6 раз (см. таблицу).

Изменения концентрации графита при удалении от внутренней (рабочей) поверхности подшипника

Номер замера	Расстояние, мм	Содержание графита, мас. %
1	0	5,75
2	2,5	5,0
3	7,5	3,1
4	15	1,3
5	17	0

Результаты получены при следующих параметрах процесса: среднее содержание графитовых частиц — 1,75 мас. %; размер частиц — 200 мкм; температура заливки — 710°С; скорость вращения изложницы — 680 об/мин.

Установлено, что устранение газовой пористости в структуре материала по наружной поверхности достигается нагревом формы до 200°С при температуре заливки 700—760°С, а также скоростью заливки 0,8—1,2 кг/с. В структуре эвтектического сплава АК12М2МгН газовые поры (раковины) обнаружены на внутренней поверхности, их количество несколько увеличивается при росте толщины стенки подшипника до 20—30 мм. Для данного сплава отмечено, что механические свойства сплава с графитом выше, чем механические свойства аналогичных отливок, отлитых в кокиль, на 10—15%, что, очевидно, связано с повышенной скоростью кристаллизации.

При центробежном литье сплавов с увеличенным интервалом кристаллизации АК5М4 и АК5М7 отмечена склонность к образованию вытянутой структуры микрочастиц кремния в радиальном направлении. Частицы графита имеют растянутую в направлении кристаллизации форму, что, очевидно, связано с распространением фронта кристаллизации сплава (рис. 2).

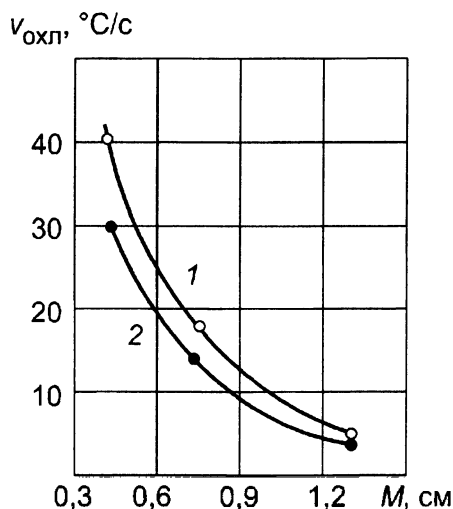


Рис. 1. Зависимость изменения скорости охлаждения $V_{охл}$ от модуля отливки M : 1 — без графита; 2 — с 1,2 % графита

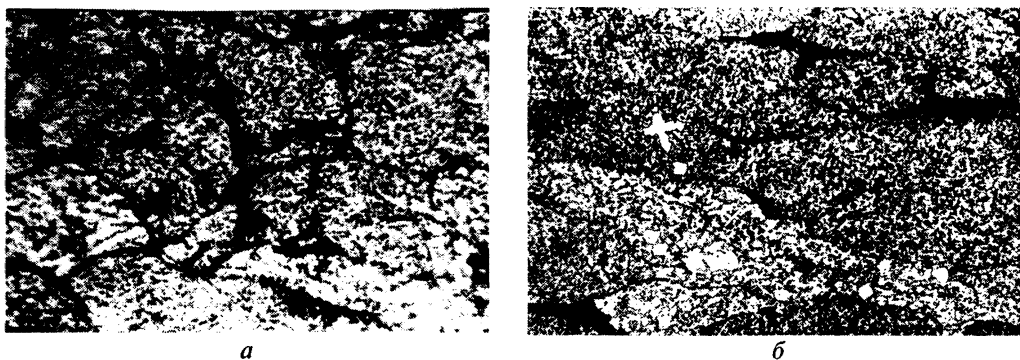


Рис. 2. Микроструктура материала алюминий—графит. $\times 400$, *а* — литье в кокиль; *б* — центробежное литье

В сплаве АК12М2МгН микрокристаллы кремния более равноосные. Размер зерна возрастает от наружной поверхности к внутренней. При недостаточной скорости вращения 550—670 об/мин образуется слоистая поверхность отливки. При этом прочность понижается вследствие повышенной макропористости. Образование более равноосных кристаллов кремния в эвтектическом сплаве объясняется кристаллизацией в меньшем макрообъеме. На рост и направленность кристаллов указывает не только направление кристаллизации, но и ее продолжительность [6]. В доэвтектических сплавах при уменьшении скорости кристаллизации направленность кристаллов объясняется и разделением фаз по удельным весам.

Понижение температуры ниже линии ликвидуса лишь на 10—20°С в несколько раз повышает вязкость сплава [7]. С ростом вязкости время коагуляции несмачиваемых частиц увеличивается, что уменьшает скорость всплывания частиц.

Весьма перспективным методом получения изделий сложной формы из алюминиево-графитовых сплавов является литье под высоким давлением в полужидком (кашеобразном) состоянии. Как правило, для прессования используют машины литья под давлением с вертикальной камерой. Вертикальная камера прессования расположена параллельно плоскости разъема литейной формы, состоящей из двух половинок, в которой металл

подается из камеры под углом 90° к оси прессующего поршня. Камера состоит из наполнительного стакана, дно которого образуется нижним поршнем (так называемой пяткой), скрепленным со штангой 1 (рис. 3). Ее продолжением является поршень 2 гидравлического цилиндра 3. Пятка удерживается снизу на требуемой высоте с помощью пружины 4 с подпятником 5, установленными в муфте 6. При опускании прессующего пуансона пружина сжимается и пятка садится на коническое гнездо, открывая путь металлу в форму.

Однако при использовании кашеобразного сплава (температура заливки 550—570°С) применение описанного выше прессующего механизма невозможно, поскольку в процессе запрессовки из-за относительно низкой температуры сплава происходит его подстывание уже в процессе перемещения прессующего пуансона, что делает невозможным получение качественного заполнения металлом полости пресс-формы. В связи с этим было предложено удалить пружину 4 с подпятником 5 (рис. 3). Самотека не происходит из-за использования кашеобразного сплава. После запрессовки металла при обратном ходе прессующего поршня поршень 2 поднимает пятку и срезает литниковый остаток.

Применение данной технологии дает возможность увеличить стойкость оснастки, работоспо-

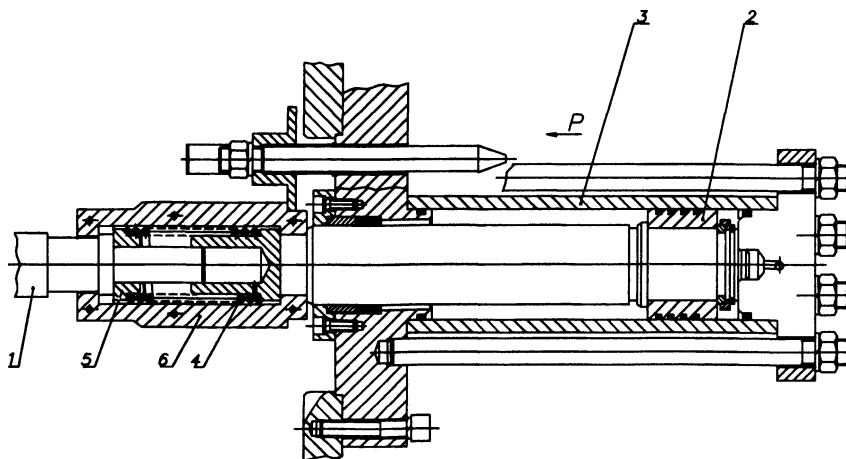


Рис. 3. Элемент прессующего механизма машины литья под давлением для удаления пресс-остатка

способность прессующего механизма машины литья под давлением за счет исключения попадания жидкого металла в технологический зазор рабочей пары поршень (пятка) — гильза, предотвращая его заклинивание, а также улучшить качество получаемого литья за счет снижения брака усадочного характера.

Таким образом, представленные приемы проведения литья антифрикционных сплавов на основе сплавов АК12М2МгН, АК5М4, АК5М7 позволяют получать изделия с заданным распределением частиц графита по объему композита. При этом повышаются антифрикционные и прочностные свойства материала, увеличивается его конкурентоспособность по сравнению с известными подшипниковыми материалами.

Литература

1. Ласковнев А. П., Волочко А. Т., Данильчик И. К. Перспективный материал для пар трения // Техника. Экономика. Организация. 1999. № 2. С. 24—26.
2. Rogatni P. K., Asthana R., Das S. Solidification, structures and properties of cast metal-ceramic particle composites // Int. Metals Rev. 1986. Vol. 31, N 3. P. 115—139.
3. Царев Г. Л., Челышев А. П., Волочко А. Т., Бортник Г. И. // Порошковая металлургия. 1986. № 1. С. 40—43.
4. Iha A. K., Asthana R., Dan T. K., Rogatni P. K. Effect of dispersed graphite on the freezing rate of gravity die-cast LM13 alloy-3wt% graphite particle composite // Mater. Sci. Lett. 1987. Vol. 6. N 2. P. 255—228.
5. Межгосударственный стандарт ГОСТ 30598-98. Сплавы антифрикционные с порошковым наполнителем. Технические условия.
6. Байков А. И. Центробежное литье алюминиевых сплавов и их литейные свойства. М.: Машгиз, 1950.
7. Швидковский Е. Г. Некоторые вопросы вязкости расплавленных металлов. М.: Металлургиздат, 1955.

20—24 мая 2002 г.

в г. Владимир — Суздаль (Россия)

состоится Международная научно-техническая конференция

«Генезис, теория и технология литых материалов».

Планируется проведение выставки с демонстрацией рекламных материалов, опытно-промышленных образцов и продукции предприятий.

Контактный адрес:

*Кечин Владимир Андреевич,
г. Владимир, ул. Горького, 87.*

Владимирский государственный университет

тел./факс (0922) 27-98-56

тел. (0922) 23-55-37

e-mail: kechin@pti.vladimir.su