

ОТЛИВКИ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ КЕРАМИКОЙ

Андрушевич А.А., к.т.н.

*Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

Казаневская И.Н., Чурик М.Н., к.т.н.

ОХП «НИИИП с ОП», г. Минск, Республика Беларусь

Бакаев А.Г.

ГНУ «ФТИ НАН Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь

Создание новых композиционных материалов с использованием современных высокотехнологичных процессов литья постоянно вызывает интерес из-за необходимости повышения уровня свойств и снижения затрат на изготовление из них литых деталей машин.

Целью работы являлась разработка прогрессивных технологических процессов получения композиционных алюминиевых отливок с повышенными физико-механическими свойствами.

Авторами разработаны и представлены различные технологии получения отливок из алюминиевых сплавов повышенной твердости и износостойкости, содержащих равномерно распределенные включения мелкодисперсной керамики.

Предложена технология изготовления литых заготовок с алюминиевой матрицей и армирующими каркасами из оксидной керамики, получаемые жидкофазной пропиткой. В качестве каркаса использовали спеченную пористую керамику, короткие волокна оксида алюминия. Инфильтрация алюминиевого расплава осуществлялась под внешним импульсным давлением в диапазоне 0,3-10,0 МПа в течение одной – пяти секунд и совмещена с процессом получения фасонной отливки в металлической форме. Метод позволяет формировать в отливке локально упрочненные зоны с отличными от основы физико-механическими и эксплуатационными свойствами [1]. В технологическом процессе получения алюминиевых отливок определяющее значение имеют следующие факторы: 1. капиллярные явления; 2. характер течения расплава внутри пористого каркаса; 3. взаимодействие между волокнами и алюминиевой матрицей; 4. процесс затвердевания алюминиевого сплава.

Установлены основные технологические параметры изготовления отливок сложной формы (тип и размеры элементов литниковой системы, температуры кокиля и заливаемого сплава, объем прибыли) литьем в кокиль при пропитке алюминиевым расплавом армирующих каркасов из керамических волокон.

Небольшие величины импульсного давления до 10 МПа, при которых производится инфильтрация алюминиевого расплава в армирующий пористый каркас, обеспечивают преимущества данной ресурсосберегающей технологии: высокую стойкость оснастки, возможность упрочнения локальных зон изделия, широкое варьирование объема каркаса в заготовке, получение отливок любой геометрии с выходом годного на уровне 0,8-0,9 и т.д. Получаемые отливки могут содержать до 50 % (по объему) мелкодисперсных волокон различных оксидов с широким спектром свойств. Проведенные исследования показали возможность изготовления композиционных отливок деталей автотракторных двигателей, испытывающих при эксплуатации значительные термомеханические нагрузки (рисунок 1). Поршни автотракторных дизельных двигателей из сплавов АК18, АК12ММгН, АК12М2МгН, изготовленные с использованием разработанной технологии, имеют в зонах,

упрочненных керамическими каркасами, значения прочности и твердости при повышенных температурах на 20 - 30% больше по сравнению со свойствами поршней, изготовленных традиционными способами. Износостойкость упрочненных зон находится на уровне нирезиста и превышает в 6-10 раз износостойкость матричного сплава. Разработанная технология совместима с процессами получения фасонных отливок в металлической форме и позволяет формировать в конкретной детали упрочненные зоны с резко отличающимися от матричного сплава эксплуатационными свойствами.



Рисунок 1 – Композиционная отливка поршня дизельного двигателя

Перспективным методом получения алюминиевых отливок с рассредоточенной мелкодисперсной керамикой в последнее время является инокулирующее модифицирование алюминиевых расплавов мелкодисперсными частицами карбидов, оксидов или нитридов, приводящее к существенному повышению уровня механических свойств сплавов [2]. Тугоплавкие частицы – инокуляторы, способствующие измельчению структурных составляющих алюминиевого сплава, одновременно становятся составной частью образующегося композиционного материала. Использование инокуляторов в зависимости от размеров частиц и их количества может как измельчать структурные составляющие и интенсифицировать формирование новых, так и являться упрочняющей фазой в образующемся композиционном материале. Такое сочетание значительно повышает эффективность примесного модифицирования. Его можно интенсифицировать путем измельчения составляющих модификаторов вплоть до нанометрических размеров для получения коллоидных металлических растворов. Применение недефицитных, дешевых и экологически безопасных порошковых добавок, например, на основе карбида кремния, нитрида титана, окиси алюминия и других, в сочетании с традиционной рафинирующей - модифицирующей обработкой может обеспечить повышение свойств литых изделий из промышленных алюминиевых сплавов. [3].

Из большого количества применяемых тугоплавких частиц (в основном карбидов и оксидов) для изменения свойств сплавов изучены два представителя: карбид кремния SiC и оксид алюминия Al₂O₃. Они оказывают различное влияние на структуру алюминиевых сплавов. SiC измельчает как эвтектический, так и первичный кремний в силуминах, а Al₂O₃, в основном, влияет на размер зерен твердого раствора. Общим компонентом приготавливаемых композиций являлись гранулы матричных сплавов, которые служили также материалом - протектором, облегчающим усвоение расплавом инокуляторов, и сами являлись инокуляторами. Они способствовали измельчению структуры сплава за счет наслед-

ственных свойств, приобретенных при повышенной скорости охлаждения и при прессовании брикетов и экструзии прутков.

Порошки инокуляторов готовили из отходов абразивов размолотом в дисковой мельнице, разработанной в ГНУ ФТИ НАН Б. Затем их рассеивали по фракциям: меньше 40 мкм; 40-100 мкм; 100-160 мкм; 160-200 мкм. Для ввода в расплавы получали композиции, состоящие из 70% гранул размером 2-3 мм матричного сплава и 30% инокуляторов разного фракционного состава. Из полученных смешиванием композиций прессовали брикеты диаметром 17 мм, которые экструдировали в прутки диаметром 10 мм, предварительно помещая брикеты в оболочку из алюминиевой фольги толщиной 0,4 мм.

Изучено влияние мелкодисперсных порошковых композиций на основе карбида кремния и окиси алюминия на структуру и свойства отливок из доэвтектического АК5М2 и заэвтектического АК21М2,5Н2,5 силуминов. Исследования свойств алюминиево – кремниевых сплавов, приготовленных из промышленных отходов, проводились после комплексной рафинирующе – дегазирующей и модифицирующей обработок. Операции дегазации и рафинирования выполняли с использованием дегазирующих таблеток и флюсов для до- и заэвтектических силуминов производства ОДО «Эвтектика».

Приготовленный в раздаточной печи САТ-0,25 расплав переливали в разогретый чугунный футерованный тигель, который помещали в шахтную печь СШОЛ 12.30/11, и доводили до требуемой температуры. Способ ввода порошковых инокуляторов – двух-этапный колокольчиком, с механическим перемешиванием расплава. Прутки с инокуляторами подогревали до 300°С и вводили в расплав при следующих технологических параметрах:

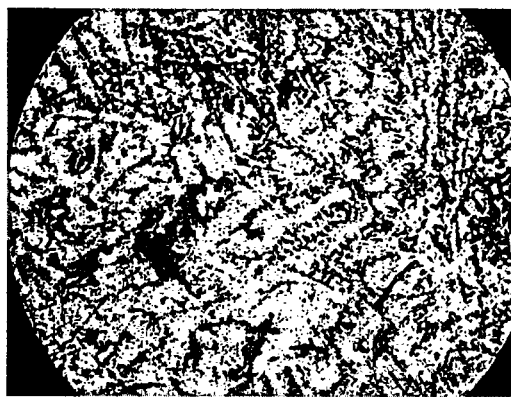
- а) температура обрабатываемого сплава, °С:
 - 1) доэвтектического силумина - 710 - 730;
 - 2) заэвтектического силумина - 800 - 820.
- б) интенсивность механического перемешивания - 60 - 100 мин⁻¹;
- в) время перемешивания - 5 - 7 минут.

На всех стадиях приготовления сплавов отливали образцы и пробы, а также вырезали образцы из кокильных отливок для определения химического состава, газовой пористости, неметаллических включений, изучения макро- и микроструктуры.

Изучали изменение структуры, твердости, прочности, износостойкости и коэффициента термического расширения сплавов. Микроструктуры сплавов АК5М2 и АК21М2,5Н2,5 в исходном состоянии и после введения оптимального количества инокулятора на основе SiC приведены на рисунках 2, 3.



а)



б)

Рисунок 2 – Микроструктура сплава АК5М2:

а) до и б) после обработки инокулятором на основе SiC, литье в кокиль

Так, в сплаве АК5М2 после ввода инокулятора происходит диспергирование эвтектического кремния и перераспределение структурных составляющих (рисунок 2, б). Иголки эвтектического кремния дробятся и приобретают более компактную округлую форму, происходит измельчение дендритов α -твердого раствора алюминия.

В заэвтектическом силумине АК21М2,5Н2,5 (рисунок 3), микроструктура образца после обработки представляет собой поле более дробной эвтектики с большим количеством первичного кремния, но более мелких размеров, чем в исходном сплаве. Так, если в исходном образце (рисунок 3, а) средняя площадь включений первичного кремния в центре отливки составляет 1600 мкм^2 , то после введения инокуляторов (рисунок 3, б) максимальная площадь включений не превышает 780 мкм^2 .

При этом следует учитывать, что влияние инокуляторов несколько «сглаживается» традиционными модификаторами, остаточное действие которых частично сохраняется при переплаве отходов деталей.

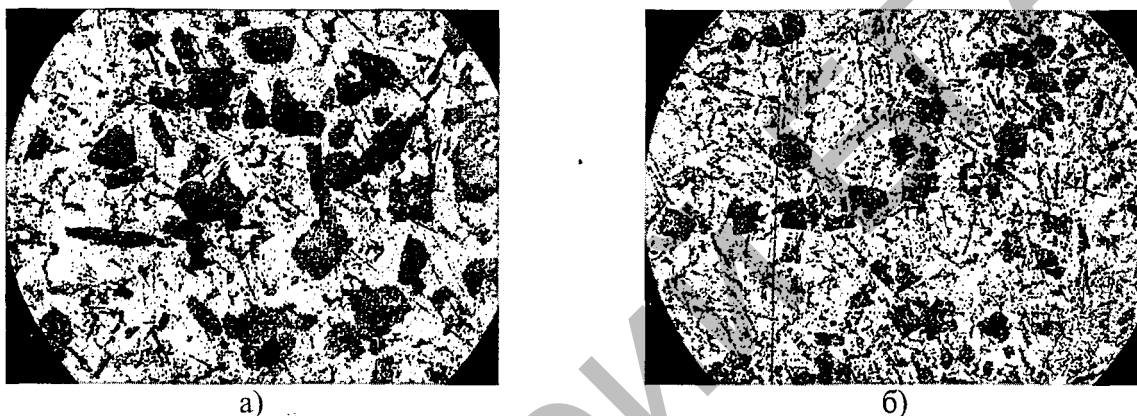


Рисунок 3 – Микроструктура сплава АК21М2,5Н2,5:

а) до и б) после обработки инокулятором на основе SiC, литьё в кокиль

Твердость вводимых частиц существенно выше твердости алюминиево-кремниевой матрицы, поэтому с увеличением как количества, так и размера зерен наблюдается заметный рост твердости сплавов. Например, в исследованном диапазоне при 5 % содержании SiC или Al_2O_3 твердость сплава АК5М2 возрастает соответственно на 26 и 20 %, а сплава АК21М2,5Н2,5 – на 31 и 26 %.

Прочность сплавов зависит как от количества, так и от размеров вводимых частиц. Наибольшее повышение прочности наблюдается, когда масса вводимых частиц инокуляторов составляет 0,7-2,0 % от массы матричного сплава. К примеру, для сплава АК21М2,5Н2,5 при введении 1 % SiC зернистостью менее 40 мкм предел прочности на 24 % выше, чем матричного сплава. При увеличении содержания частиц свыше 3-3,5 % прочность становится ниже уровня прочности матричного сплава. Для доэвтектического сплава АК5М2 при введении 4 % Al_2O_3 зернистостью менее 40 мкм это снижение составило 21 %, а с частицами SiC – 8 %.

Карбид кремния оказывает большее влияние, чем оксид алюминия на прочность как доэвтектического, так и заэвтектического силуминов. Это, очевидно, вызвано более существенным измельчением добавками SiC эвтектического и первичного кремния по сравнению с таким же количеством вводимого в сплав оксида алюминия. Порошки меньшей зернистости более эффективны для повышения прочности сплава из-за большего модифицирующего влияния на их структуру.

Изучено также влияние зернистости порошков инокулятора на износостойкость исследуемых сплавов. Использовали порошки только SiC, так как по сравнению с Al_2O_3 кар-

бид кремния имеет большую твердость и обеспечивает более высокую твердость формирующегося композиционного материала, что положительно влияет на износостойкость алюминиевых отливок. Например, в исследованном диапазоне при 5%-ном содержании SiC или Al_2O_3 твердость сплава АК5М2 возрастает соответственно на 26 и 20 %, а сплава АК21М2,5Н2,5 – на 31 и 26 %.

С увеличением зернистости и количества карбида кремния износ уменьшается. При 5%-ном содержании порошков SiC по сравнению с матричными сплавами износостойкость композитов в среднем выше в 3-4 раза, что хорошо коррелирует с данными по изменению твердости с увеличением зернистости частиц инокулятора.

Влияние добавок карбида кремния на коэффициент термического расширения изучалось для сплава АК21М2,5Н2,5, поскольку этот сплав используется для изготовления поршней высоконагруженных дизельных двигателей сельскохозяйственной техники. Полученные результаты показали, что введение в сплав 5 % SiC снижает коэффициент термического расширения в интервале 20-300°C на 10-15 %. Такой сплав можно рекомендовать как материал поршней автотракторных двигателей с целью снижения зазора между гильзой и поршнем.

Наибольший эффект от введения порошковых инокуляторов можно получить в отливках из алюминиевых вторичных сплавов, к которым предъявляются требования повышенной твердости, износостойкости и низкого коэффициента термического расширения при невысокой стоимости.

При содержании инокулятора 3-5% от массы алюминиевого расплава формируется новый композиционный материал с повышенными свойствами. Твердость алюминиево-кремниевых сплавов повышается на 20-30 %, износостойкость – в 3-4 раза, прочность – на 15-24 %, коэффициент термического расширения снижается на 15-18 %. Для существенного повышения прочности сплавов при растяжении необходимо использовать инокуляторы зернистостью меньше 40 мкм.

Снижение прочности сплавов с увеличением количества инокулятора и размера его зерен связано, очевидно, с отсутствием диффузионной связи между металлической матрицей и зёрнами инокулятора. В результате чего на поверхностях контакта формируются местные «надрезы», концентраторы напряжений, по которым и происходит разрушение материала.

Технологические процессы получения отливок на основе алюминия с использованием мелкодисперсной упрочняющей керамики отличаются разнообразием и основаны на комплексном подходе, обеспечивая повышение физико-механических и эксплуатационных свойств, изготавливаемых из них литых деталей машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрушевич А.А., Чурик М.Н. Ресурсосберегающие технологии получения новых композиционных материалов. Материалы МНТК «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии», Беларусь, г. Могилев, 2005 г.
2. Андрушевич А.А., Чурик М.Н., Казаневская И.Н. Влияние порошковых добавок на структуру вторичных заэвтектических силуминов. Материалы МНТК «Металлургия и литейное производство, Беларусь, 2007». – С. 268-269.
3. Андрушевич А.А., Чурик М.Н., Казаневская И.Н. Композиционные литые материалы на основе алюминия: перспективы и применение. Материалы докладов 8-й МНТК «Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия и сварка», Минск, Беларусь, ГНПО ИПМ, 2008г. – С.67-68.

Аннотация

Отливки из алюминиевых сплавов с мелкодисперсной упрочняющей керамикой

Рассмотрены технологические процессы получения композиционных отливок на основе алюминия с использованием мелкодисперсной упрочняющей керамики. Показана возможность существенного повышения физико-механических свойств отливок, изготовленных из вторичных алюминиевых сплавов.

Abstract

Casting from aluminium alloys with finely disperse strengthening ceramics

Technological processes of production composition castings on the aluminium base with ultra disperse hardening ceramic are discussed. It is shown possibility of the essential increasing of mechanical and physical properties of castings from aluminium alloys.

УДК.621.783:621.922

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДУЛЯ ДЛЯ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Акулович Л.М., д.т.н., профессор

*Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

Хейфец М.Л., д.т.н., профессор; Зевелева Е.З.

Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Республика Беларусь

Введение. Современными тенденциями развития ремонтного производства является внедрение технологических модулей (ТМ), реализующих процессы комбинированной электромагнитной и термомеханической обработки, их оснащение инструментами, установками, устройствами автоматизации. Проектирование такого оборудования – сложная и комплексная проблема производства, имеющая различные решения и широкие диапазоны возможных альтернатив. Решается она структурным синтезом технологических модулей, использующих источники энергии на основе параметрической оптимизации [1, 2].

Технологические основы проектирования ТМ обеспечивают разработчика информацией, необходимой для создания технологических процессов, средств их оснащения и автоматизации. Они содержат рациональные режимы обработки по всем операциям технологического процесса, сведения о конструкции приспособлений, рабочих органов оборудования, установок, программное обеспечение и схемы сопряжения рабочих, обслуживающих, информационных машин и агрегатов технологической системы.

Рациональные режимы и конструкции получают путем оптимизации основных параметров, которые описывают аналитическими и статистическими моделями. В статистических моделях используют многофакторное планирование экспериментов, дисперсионный, регрессионный и ковариационный анализ [3, 4].

При исследовании электромагнитных и термомеханических процессов в рабочей зоне ТМ аналитические модели требуют уточнения, путем планирования отсеивающих,