

Исследование влияния легирующих элементов на свойства сплава ЦА4М1

Пантюхова К. Н., Бургонова О. Ю., Бургонов М.А.
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация: В данной работе изучение влияния химического состава сплава, условий его плавки, рафинирования и заливки, на качество получаемой отливки. Проведенное исследование показало, что увеличение содержания алюминия в сплаве ЦА4М1 выше 4,5 % приводит к снижению прочности сплава. Увеличение содержания магния выше 0,05 %, так же приводит к снижению прочности сплава. Изменения твердости сплава при колебаниях содержания алюминия и магния не отмечалось.

Ключевые слова: литейные цинковые сплавы; влияние легирующих элементов; температура заливки; старение цинковых сплавов.

ЦАМ – семейство цинковых сплавов, открытых в 1929 году американской компанией The New Jersey Zinc Corporation. Их основной элемент – цинк, а легирующие – алюминий, медь и магний. Оригинальное название ZAMAK это аббревиатура из обозначений этих металлов на немецком: zink, aluminium, magnesium, kupfer.

По имеющимся на настоящий момент данным основные легирующие элементы сплава оказывают следующее влияние на его структуру [4, 7, 8].

Алюминий. Улучшает жидкотекучесть и снижает растворение железа, что в итоге повышает прочность сплава.

Медь – повышает прочностные характеристики, но снижает коррозионную стойкость.

Магний – замедляет процессы старения сплавов данной системы и способствует повышению их прочности.

При увеличении содержания железа свыше 0,02 % в структуре сплава появляется хрупкая составляющая $FeZn_7$, которая при содержании железа в сплаве выше 0,2 % увеличивает хрупкость.

Такие примеси как свинец, олово и кадмий являются чрезвычайно вредными в данном сплаве, в значительной степени ухудшают его обрабатываемость и эксплуатационные свойства [1, 10].

Поэтому, для улучшения свойств сплава, содержание примесей в нем рекомендуется иметь в строго определенных пределах. Но, по экспериментальным данным в сплаве, применяемом на заводе, их содержание может быть несколько завышено, и это должно вызывать ухудшение свойств. Влияние примесей на механические свойства сплава, его твердость и микроструктуру изучено слабо и данные, представленные в литературе, весьма ограниченные [5, 11, 12].

Физические свойства сплава ЦА4М1 известны. Однако взаимосвязь физических свойств и структуры сплава не изучена. Верхняя критическая точка

для сплава ЦА4М1 – 390 °С. Поэтому приведенная в технологической производственной документации температура заливки сплава 380–410 °С требует проверки.

Согласно поверхностям ликвидуса кристаллизация сплава ЦА4М1 протекает в три стадии (рис. 1).

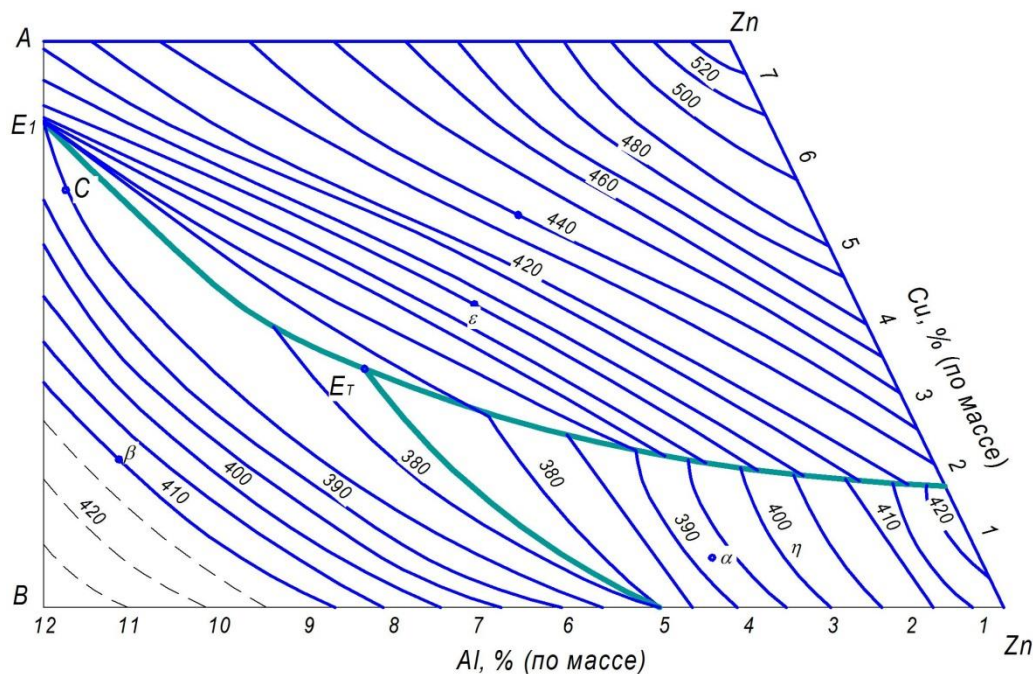
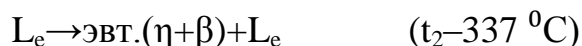


Рисунок 1 – Проекция поверхности ликвидуса системы Zn-Al-Cu (цинковый угол)

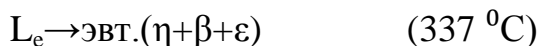
Первая стадия:



Вторая стадия:



Третья стадия:



Таким образом структура сплава состоит из

- твердого раствора η ,
- двойной эвтектики $(\eta + \beta)$
- тройной эвтектики $(\eta + \beta + \epsilon)$.

η – твердый раствор меди в цинке.

β – твердый раствор алюминия в цинке.

ϵ – электронное соединение, образующееся при распаде η -фазы.

Состав применяемого на производстве сплава на диаграмме обозначен точкой. Исходя из приведенной диаграммы, можно сделать такой вывод: температура верхней критической точки для сплава данного состава составляет 390 °С. Эвтектическая температура кристаллизации сплава – 377 °С; состав тройной эвтектики приведен в табл. 1.

Таблица 1

Состав тройной эвтектики при температуре 377 °С, %

Zn	Al	Cu
89,1	7,05	3,85

Тройные сплавы системы Zn-Al-Cu подвержены естественному старению, заключающемуся в распаде η - и β -фаз. Известно, что при высоких скоростях охлаждения, например при литье в холодный кокиль β -фаза не распадается, но при этом измельчаются эвтектики [9, 13].

Эффект старения, связанный с изменением линейных размеров и свойств отливок, зависит от свойств сплава. Особенно быстро эти процессы развиваются при увеличении содержания алюминия.

Примеси свинца, олова и кадмия также ускоряют изменения линейных размеров, вследствие чего отливки коробятся или даже растрескиваются. Влияние небольшого количества свинца на изменение размеров цинковых отливок показано на слайде. В связи с этим для приготовления цинковых сплавов с алюминием и медью рекомендуется применять цинк повышенной чистоты с минимальным содержанием свинца, олова и кадмия [2, 3].

Положительное влияние на цинковые сплавы оказывает магний в количестве 0,03–0,1 %, который не только способствует замедлению процесса старения сплавов системы Zn-Al-Cu, но и увеличивает их прочность.

За счет правильного подбора состава сплава можно добиться, что изменения размеров в отливках станут практически несущественными.

Литейные свойства сплава ЦАМ4-1 вполне удовлетворительные и позволяют получить из него сложные тонкостенные детали при литье в кокиль.

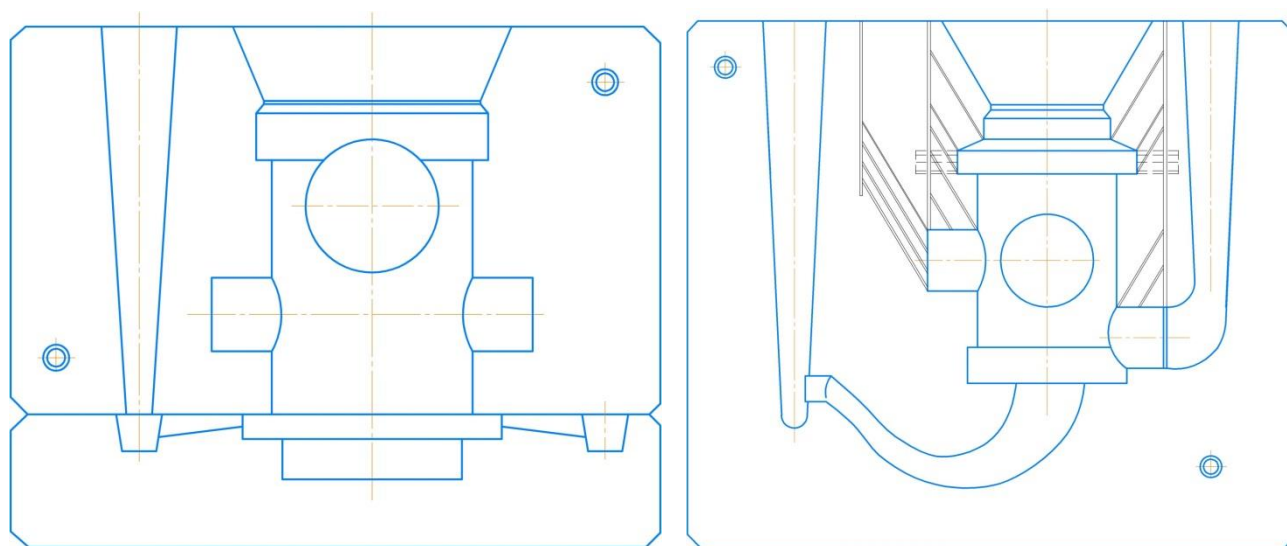
Анализ «внутреннего» и «внешнего» брака отливок показал, что более 90 % от общего количества брака составляют дефекты по газовым раковинам. Как правило, газовые раковины располагаются в верхних частях горизонтальных поверхностей и являются причиной плохой вентиляции формы и неправильного подвода металла.

При анализе конструкции литниковой системы и наблюдении за ее работой в момент заливки установлено, что металл поступает в полость формы с большой скоростью, фонтанируя и разбрызгиваясь.

При этом неизбежно происходит захват пузырьков воздуха, которые не успевают всплыть и образуют газовые раковины в теле отливки.

Существующая конструкция кокилей не обеспечивает получения качественных отливок из-за отсутствия надежной вентиляции полости формы и неправильного подвода расплава (рис. 2, а).

Кокиль старой конструкции состоял из трех частей: двух боковых и нижней части. В нижней части выполнена литейная полость, оформляющая квадратный фланец и нижний цилиндрический патрубок детали. Подвод металла в литейную полость осуществляется через литник от кольцевого коллектора. Как было указано выше, газовые раковины в отливке располагались, в основном, на верхних частях горизонтальных поверхностей.



а) в кокиле старой конструкции

б) в кокиле новой конструкции

Рисунок 2 – Схема расположения литейной полости и литниковой системы

Кокиль новой конструкции состоит из двух половин (рис. 2, б). Новая конструкция отличается от старой тем, что литейная полость детали повернута на угол 180° . Такое расположение литейной полости дало возможность осуществить нижний подвод металла через дроссельную литниковую систему, обеспечивающую снижение скорости струи металла в литниковом канале формы. В верхней части всех горизонтально расположенных поверхностей предусмотрены вентиляционные каналы. Вентиляция полости, оформляющей квадратный фланец и двух полостей, расположенных перпендикулярно плоскости разъема и оформляющих боковые патрубки осуществляется через специальные вентиляционные пробки к полости, оформляющий нижний патрубок, подведен выпор.

Для проведения экспериментальной части был приготовлен базовый сплав. Опытные плавки проводились в индукционной печи ИО-52 в тигле, изготовленном из чугуна, легированного алюминием. Температура сплава контролировалась хромель-алюминиевой термопарой погружения.

Для определения механических свойств отливались стандартные образцы в трехместный кокиль. Испытания образцов на разрыв проводились на разрывной машине ЦДМ-10. Твердость определялась на прессе «Бринелль».

Проведение опытных плавки показало, что при температуре сплава 380°C он в кокиль не заливается. Все образцы, залитые в кокиль, нагретый до 180°C при температуре заливки сплава ниже 400°C имели недоливы.

Низкую жидкотекучесть сплава при температуре его заливки ниже 400°C можно легко объяснить исходя из диаграммы проекций поверхностей ликвидуса системы цинк–алюминий–медь (рис. 1). Состав применяемого на производстве сплава на диаграмме обозначен точкой. Исходя из приведенной диаграммы: температура верхней критической точки для сплава данного состава составляет 390°C . Эвтектическая температура кристаллизации сплава – 377°C ; состав тройной эвтектики приведен в таблице 1. Следовательно,

диапазон температур заливки сплава ЦА4М1 (380–410) °С, указанный в технологии, выбран неправильно.

Учитывая необходимость некоторого перегрева, который для цинковых сплавов составляет 20–30 °С, нижний предел температуры заливки можно назначить равным 410 °С, а верхний предел принять равным 430 °С. При этом возникает необходимость установления зависимости свойств сплава от температуры его заливки.

Согласно полученным данным механические свойства сплава с увеличением температуры его заливки несколько возрастают, до температуры заливки 430 °С. С дальнейшим увеличением температуры заливки механические свойства незначительно уменьшаются (рис. 3). При проверке данных эксперимента изменения твердости образцов, полученных при разной температуре заливки, не обнаружено.

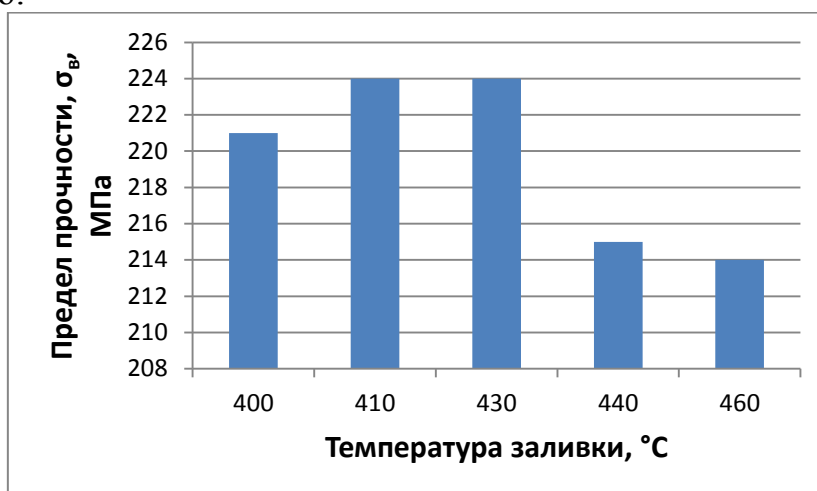


Рисунок 3 – Зависимость предела прочности и твердости от температуры заливки в кокиль, подогретый до 190 °С

Заливка производилась при температуре сплава 410 °С.

Полученные данные свидетельствуют о том, что с увеличением температуры кокиля прочность сплава несколько уменьшается.

Определение прочности и твердости образцов производилось после естественного старения сплава.

Длительность естественного старения – 5 дней.



Рисунок 4 – Зависимость предела прочности и твердости от температуры кокиля

На рисунке 5 приведены результаты экспериментов, по установлению влияния содержания магния на прочность сплава. Содержание других компонентов, в целом, оставалось постоянным.

Полученные данные свидетельствуют, что увеличение содержания магния выше 0,05 % приводит к снижению прочности.



Рисунок 5 – Влияние химического состава на прочность сплава ЦА4М1

Структура такого сплава состоит из η -твердого раствора, двойной эвтектики ($\eta+\beta$) и тройной эвтектики ($\eta+\beta+\epsilon$) (рис. 6).



Рисунок 6 – Микроструктура сплава ЦА4М1 с содержанием магния

На рис. 7 приведены данные по влиянию содержания алюминия на прочность сплава. Изменение содержания других компонентов столь незначительно, что его можно считать постоянным.

Согласно полученным данным эксперимента, увеличение содержания алюминия свыше 4,7 % приводит к снижению прочности.

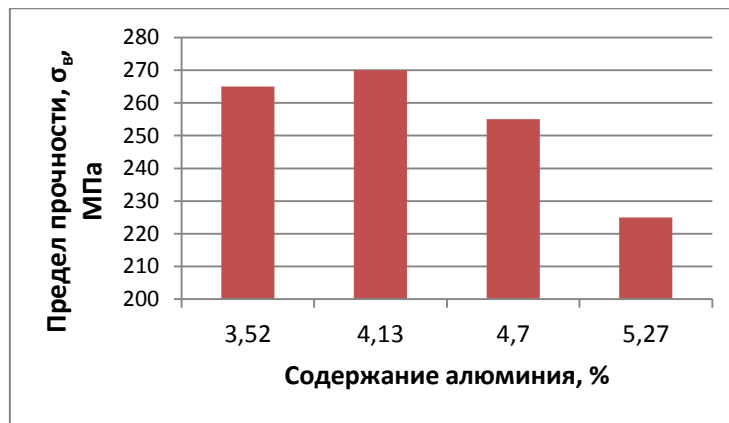


Рисунок 7 – Зависимость предела прочности от содержания Al, %

Структура такого сплава состоит из η -твердого раствора (темные дендриты) и двойной эвтектики ($\eta+\beta$) (рис. 8).

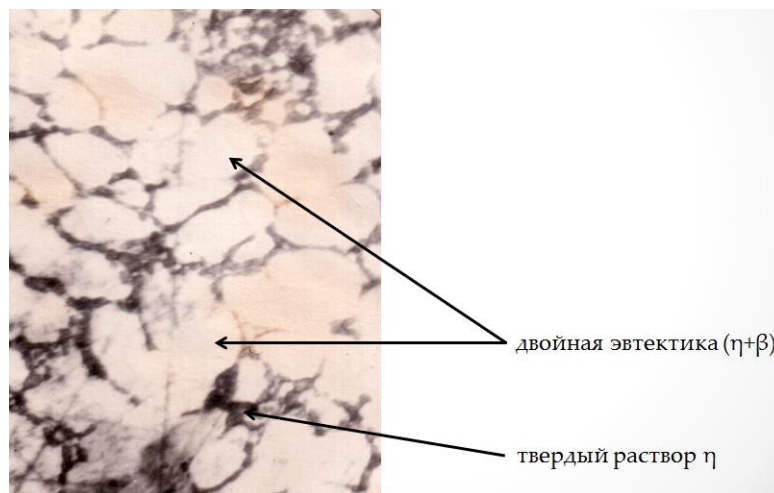


Рисунок 8 – Микроструктура сплава ЦА4М1 с содержанием алюминия

В результате проведенной работы установлено следующее:

Увеличение содержания алюминия в сплаве ЦАМ4-1 выше 4,5 % приводит к снижению прочности сплава.

Увеличение содержания магния выше 0,05 %, так же приводит к снижению прочности сплава.

Изменения твердости сплава при колебаниях содержания алюминия не отмечалось.

Температура заливки сплава, указанная в технологии 380–410 °С не обеспечивает получения качественных отливок, т.к. верхняя критическая точка для сплава данного состава составляет 390 °С. Температура заливки сплава должна быть в пределах 410–430 °С.

Повышение температуры заливки не влечет за собой ухудшения свойств сплава или изменения его твердости. Наоборот, наблюдается некоторый максимум прочности образцов залитых при температуре 430 °С.

Предложена новая конструкция кокиля детали патрубков, предусматривающая надежную вентиляцию верхних частей всех горизонтально

расположенных поверхностей формы и сифонный подвод металла через дроссельную литниковую систему.

Библиографический список

1. Cwolek, B., Wierzbicki, Ł.J., Bolibrzuch, B., (...), Kostrzewa, J., Juszczyk, B. Technological aspects of producing certified reference material (CRM) for zinc alloys // 73rd World Foundry Congress "Creative Foundry", WFC 2018 – Proceedings. С. 461-462
2. Ditze, A., Scharf, C. Experimental measurements in melting ingots in the melt of the same material // International Journal of Thermal Sciences. 2017. № 112. С. 211-221
3. Fraser, A., Deschênes, J.-M. True Traceability Enabled by In-Line Laser Marking of Lead and Zinc // Ingots Minerals, Metals and Materials Series. 2020. С. 767–775
4. Huang, R., Zhang, B. Study on the composition and properties of salt cores for zinc alloy die casting // International Journal of Metalcasting. 2017. № 11(3). С. 440–447.
5. Pola, A., Tocci, M., Goodwin, F.E. Review of microstructures and properties of zinc alloys // Metals. 2020. № 10(2). P. 253
6. Reveko, V., Lampert, F., Winther, G., Møller, P. Change of the Decorative Properties of Zinc-Plated Zinc Die Castings over Time // International Journal of Metalcasting. 2020. № 13(1). С. 130–136.
7. Rollez, D., Pola, A., Prenger, F. Zinc alloy family for foundry purposes // World of Metallurgy - ERZMETALL. 2015. № 68(6). С. 354-358
8. Zhang L. M., Chen M. L., Yan, C. K. Structure and properties of an as-cast zinc-based alloy with high strength and wear resistance // JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE LETTERS. 1998. № 17. P. 1903–1905.
9. Инновационные технологии в литейном производстве // Сборник трудов Международной научно-технической конференции, посвящённой 150-летию факультета "Машиностроительные технологии" и кафедры "Технологии обработки материалов! МГТУ им. Н.Э. Баумана / Под общей редакцией К.А. Батышева, К.Г. Семенова. 2019.
10. Кечин В. А., Люблинский Е. Я. Цинковые сплавы. М.: Metallurgy, 1986. 247 с.
11. Кечин В.А., Люблинский Е.Я., Киреев А.В., Прусов Е.С. Повышение и стабилизация электрохимических свойств цинковых сплавов в условиях литья // Коррозия: материалы, защита. 2019. № 4. С. 1–9.
12. Чемезов Д.А. Степень усадочной пористости в отливках после процесса затвердевания // Theoretical & Applied Science. 2017. № 7 (51). С. 1–6.
13. Шапарев А.В., Савина А.И. Технологические режимы и особенности процесса литья под давлением цинковых сплавов // Наука и современность. 2017. № 1 (11). С. 207–221.

Пантюхова Ксения Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение», секция «Материаловедение и технология конструкционных материалов».

SPIN-код: 7161-2236, AuthorID (РИНЦ): 755568

AuthorID (SCOPUS): 57203591576

8-905-096-34-83

Бургонова Оксана Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение», секция «Материаловедение и технология конструкционных материалов».

SPIN-код: 9859-7548, AuthorID (РИНЦ): 675336

AuthorID (SCOPUS): 57103594000