

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Наумовой Евгении Александровны на тему  
«Разработка научных основ легирования алюминиевых сплавов  
эвтектического типа кальцием», представленной на соискание учёной  
степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 –  
Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Работа Наумовой Е.А. посвящена актуальной задаче – разработке научных основ литейных алюминиевых сплавов на основе эвтектики Al-Ca. В настоящее время большинство литейных алюминиевых сплавов создано на основе эвтектики Al-Si. Существует ряд сплавов созданных на основе эвтектических систем Al-Ni и Al-Fe для применения в качестве жаропрочных и электропроводящих материалов. Причем эти сплавы могут быть использованы как в литом, так и в деформированном состоянии. Автор диссертации выполнила систематическое исследование, которое содержит достаточное количество новой научно-технической информации и позволяет достаточно полно оценить возможности использования сплавов на основе системы Al-Ca, понять их недостатки и достоинства по сравнению с известными литейными сплавами. Среди результатов, полученных Наумовой Е.А., хочу выделить наиболее важные.

1. Сплавы Al-Ca обладают хорошей жидкотекучестью, сравнимой по этому показателю со сплавами систем Al-Si, Al-Ni и Al-Fe. Это обусловлено небольшим температурным интервалом между ликвидусом и солидусом (температурой эвтектики) при весовых концентрация Ca от 4% до 10%. В этом диапазоне концентраций возможно создание доэвтектических, эвтектических и заэвтектических сплавов на основе системы Al-Ca. Сплавы имеют высокую коррозионную стойкость и могут рассматриваться как замена силуминам (Al-Si сплавы) для применений в агрессивных средах. Кроме того, сплавы Al-Ca имеют несколько меньшую плотность. Как жаропрочные материалы сплавы Al-Ca вряд ли могут рассматриваться. Достоинством сплавов Al-Ca является возможность повышения их пластичности за счет получения сферической формы частиц фазы

$Al_4Ca$  сфероидизирующим отжигом, вместо модифицирования. Таким образом, работа Наумовой Е.А. позволила как систематизировать имеющиеся данные по сплавам Al-Ca, так и получить новые экспериментальные результаты, которые позволяют понять место сплавов этой системы в литейных алюминиевых сплавах.

2. Эвтектический сплав Al-7.6%Ca демонстрирует примерно такие же свойства как аналогичные сплавы Al-11÷12%Si или Al-6%Ni, несмотря на больший удельный объем интерметаллидной фазы  $Al_4Ca$ . Стоит отметить относительно низкую величину предела текучести и относительного удлинения. Последнее не очень понятно, поскольку существует возможность сфероидизации фазы  $Al_4Ca$ . С другой стороны временное сопротивление разрушению почти на 30% выше, чем в аналогичных сплавах АК12 и Al-6%Ni. По всей видимости, большой удельный объем фазы  $Al_4Ca$  приводит к локализации деформации в алюминиевой матрице, что ведет к ее интенсивному наклепу.

3. Автор показала, что сплавы Al-Ca слабо чувствительны к примесям Fe и Si. Образование игольчатых кристаллов интерметаллидов железа возможно только при содержании железа немного больше, чем 1% и легко подавляется с увеличением скорости охлаждения. Это позволяет использовать для получения этих сплавов дешевый первичный алюминий с повышенным содержанием Fe. Поэтому можно рассматривать замену сплавами Al-Ca сплавов Al-Si, как удешевление литейного производства.

4. Автор провела систематическое исследование влияния различных легирующих элементов на структуру и свойства двойных сплавов Al-Ca. Эта работа построена по принципу аналогичных работ по созданию высокопрочных литейных сплавов, имеющих в своем составе компоненты, образующие эвтектику, и компоненты, упрочняющие алюминиевую матрицу (стандартные упрочнители деформируемых сплавов – Zn, Mg, Cu и др.). Очень интересным представляется получение литейной композиции сплава Al-10%Zn-3%Mg за счет использования доэвтектического состава с 3.5%Ca. Сплав демонстрирует хорошее сочетание прочностных свойств и литейных характеристик. Он может рассматриваться как перспективный высокопрочный литейный алюминиевый сплав с удовлетворительными литейными свойствами.

5. Следует отметить ряд результатов по получению сплавов на основе системы Al-Ca с добавками Zr и/или Sc. Эти сплавы имеют прочность на уровне силуминов и могут применяться как в литом, так и деформируемом состоянии. Их свойства выше, чем свойства сплавов, не содержащих кальций, с аналогичным содержанием Zr и Sc.

Таким образом, результаты диссертационной работе Наумовой Евгении Александровны достаточны для оценки возможности практического применения сплавов Al-Ca в качестве замены других литейных сплавов на основе алюминия. Эти сплавы не уступают силуминам по литейным свойствам, превосходят их по уровню временного сопротивления разрушению, по коррозионной стойкости и имеют более низкую плотность. На базе этой системы могут быть созданы сплавы высокой прочности и средней прочности за счет дополнительного легирования. Полученные научные результаты имеют важное научное значение для физической металлургии алюминиевых сплавов, что позволило их опубликовать в ведущих металлургических журналах, входящих в базы цитирования WoS и Scopus, в том числе в 9 статьях, входящих в первый квартиль SJR. Также результаты работы Наумовой Е.А. были доложены на многочисленных конференциях, включая международные. Технические решения защищены 4-мя патентами.

По автореферату имеются вопросы и пожелания.

1. Несмотря на то, что данные в автореферате технологические рекомендации позволили компании ОК РУСАЛ в последние годы начать освоение технологии получения Al-Ca сплавов, в автореферате это не нашло отражение.
2. В автореферате отсутствуют данные по сопротивлению коррозии сплавов, содержащих 9÷10%Zn и 3%Mg. В то же время известно, что такие сплавы без Ca не нашли применения именно из-за проблем с коррозией под напряжением, что решается дополнительным введением до 1.6%Cu или ограничением  $\Sigma(Zn+Mg) \leq 6\%$ .
3. В автореферате отсутствуют данные по электропроводимости Ca содержащих сплавов Al-Zr(Sc). Эти данные важны, поскольку дадут возможность оценить использование этих материалов в качестве электропроводов.
4. Из текста автореферата следует, что возможно создание аналога сплава AA356 на основе доэвтектического сплава Al-Ca. Однако, однозначно это не

показано, хотя понятно, что использовать упрочнение метастабильными фазами системы Al- Mg<sub>2</sub>Si типа β“ не удалось.

В целом работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Евгения Александровна Наумова заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Профессор кафедры материаловедения и нанотехнологий,  
доктор физико-математических наук по специальности 01.04.07 Физика твердого тела



Кайбышев Рустам Оскарович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,  
308015, г. Белгород, ул. Победы, д.85,  
Rustam\_kuibyshev@bsu.edu.ru

Личную подпись  
удостоверяю  
Документовед  
управления  
по развитию  
персонала и  
кадровой работе

