



УДК 621.74

Поступила 12.09.2017

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И НОВЫЕ ЛЕГКИЕ СПЛАВЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОТЛИВОК

DIGITAL TECHNOLOGIES AND NEW LIGHT ALLOYS IN CASTING PRODUCTION

В. Д. БЕЛОВ, А. В. КОЛТЫГИН, А. В. ФАДЕЕВ, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Россия. E-mail: vdbelov@mail.ru

V. D. BELOV, A. V. KOLTYGIN, A. V. FADEEV, National Research Technological University «MISiS», Moscow, Russia. E-mail: vdbelov@mail.ru

Новые материалы и ускоренная подготовка производства на базе цифровых технологий – гарантированный успех на рынке производства литейной продукции. В связи с этим понятна важность и актуальность научно-исследовательских работ, проводимых в МИСиС по выработке новых подходов к разработке легких сплавов и изготовлению из них отливок ответственного назначения. Причем сплавов, не только как заменителей, например, силуминов, но и как принципиально новых сплавов на основе алюминия, магния и титана, интересных для промышленности сегодня и необходимых для нее завтра.

В НИТУ «МИСиС» выполнен большой объем научно-исследовательских работ в области разработки составов новых сплавов, которые позволили установить, что, например, для создания литейных сплавов на основе алюминия, с высоким уровнем механических свойств их необходимо легировать таким образом, чтобы в структуре в процессе кристаллизации образовывалось значительное количество эвтектики.

В качестве вторых фаз двойной эвтектики с алюминиевым твердым раствором (Al) анализировали следующие: Mg_2Si , Al_3Ni , Al_4Ce , Al_9FeNi , Al_8Fe_2Si , $Al_{10}Fe_2Ce$. Наилучшие результаты были получены на сплавах, содержащих в качестве второй фазы эвтектики соединение Al_3Ni (эти сплавы называются никалинами).

Что касается научно-исследовательских работ, проведенных на кафедре ЛТиХОМ в области изготовления фасонных отливок из магниевых и титановых сплавов, то отметим следующее:

1. Выполнен целый комплекс исследований, направленный на повышение качества отливок из магниевых сплавов с РЗМ и сплавов системы Mg–Al–Zn. Работы проводили как в области приготовления расплавов, включая рафинирующую и модифицирующую обработку, так и в области конструирования отливок, включая литниково-питающую систему и моделирование процессов заполнения расплавом полости литейной формы и затвердевания отливки. Проведен большой объем научно-исследовательских работ по кристаллизации сплавов с целью формирования в отливках требуемой структуры и получения необходимого уровня механических свойств сплавов.

Особо следует отметить работы по исследованию процесса формирования структуры лигатуры Mg–Zr. Было установлено, что увеличение скорости охлаждения при кристаллизации лигатуры Mg–Zr ведет к измельчению выделений циркония, росту их количества и повышению эффективности его ввода в сплав системы Mg–Zn–Zr–РЗМ. Проанализировано поведение циркония в расплаве при приготовлении сплава этой системы, вводимого с помощью лигатуры Л-4 и быстроохлажденной лигатуры, и выявлены причины обеднения им расплава.

Для прогнозирования фазового состава и качества литого и термообработанного металла активно использовали методы компьютерного моделирования с применением программы Thermo-Calc. Также с помощью данного метода эффективно решали вопросы совершенствования режимов термообработки с целью получения желаемого фазового состава сплава.

Так, например, для сплава системы Mg–Zn–Zr установлено, что двухступенчатый режим закалки 330 °С 5 ч + 400 °С 5 ч дает наибольший прирост твердости. Изучено влияние температуры старения (150 и 200 °С) на твердость сплава и показано, что старение при 200 °С позволяет получить более высокую твердость. Путем определения изменения твердости в процессе старения при 200 °С установлено наличие максимума при 8–10 ч выдержки. В результате термообработка сплава, включающая в себя изотермическую выдержку при температуре 330 °С 5 ч + 400 °С 5 ч с последующей закалкой и старение при 200 °С в течение 8 ч, позволила достичь прочности сплава 285 МПа и относительного удлинения 11,4%.

Использование компьютерного расчета фазовых диаграмм состояния позволило проводить работы по созданию новых перспективных магниевых сплавов для различных областей применения. Так, на кафедре разработано несколько экспериментальных сплавов на базе систем Mg–Ca–X, Mg–Si–X, которые могут применяться в различных областях в литом и деформированном состоянии. Проводятся работы по получению материалов для биоразлагаемых имплантов, свободных от большинства недостатков ныне существующих материалов.

Современное литейное производство немислимо без симуляционного компьютерного моделирования литейных процессов. На литейной кафедре НИТУ «МИСиС» активно используются одни из лучших программных продуктов ProCast и ПолигонСофт. Современные компьютерные модели достаточно качественно описывают процессы теплопереноса, происходящие в отливке и форме в процессе литья и затвердевания. Однако для получения адекватных результатов моделирования необходимо иметь качественные базы данных теплофизических свойств используемых материалов и правильно задавать параметры моделирования. Это стало одной из основных задач исследований, проводимых кафедрой в настоящее время. Так, например, путем сопоставления экспериментальных и расчетных кривых охлаждения определена величина коэффициента теплопередачи между отливкой из сплава AZ91 и формой из ХТС. Коэффициент теплопередачи выше температуры ликвидуса имеет значение $h_L = 1100 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, а ниже температуры солидуса $h_S = 600 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Найденные значения коэффициентов теплопередачи обеспечивают разницу между экспериментальными и расчетными значениями температуры в отливке и форме не более 20 °С.

Применительно к производству отливок из сплавов на основе титана в первую очередь следует выделить работы по изготовлению литых деталей из интерметаллида титан – алюминий. В ходе этих работ были исследованы свойства сплава типа ТНМ, разработана и внедрена в производство технология изготовления лопаток газотурбинных двигателей. Определение и уточнение физико-химических свойств сплава типа ТНМ позволило значительно повысить достоверность результатов моделирования процессов заполнения расплавом полости литейной формы и затвердевания отливки.

Для исключения импортной зависимости при изготовлении лопаток газотурбинных двигателей в части сплава системы Ti–Al, применяемого при их производстве, с использованием программы ThermoCalc был выполнен целый комплекс следующих работ:

1. Проведен количественный анализ фазовых диаграмм тройных систем Al–Ti–X (где X – Nb, Mo, Cr, V, Zr, W, Mn и Si) в области гамма-сплавов на основе алюминидов титана.

2. Рассчитаны изотермические и политермические сечения тройных систем, из которых следует, что наличие третьего компонента существенно усложняет фазовый состав по сравнению с двойной системой Al–Ti.

3. Определены расчетные значения температур ликвидуса, солидуса и других температур фазовых превращений. Показано, что они сильно различаются в зависимости от состава сплава.

4. Установлены параметры неинвариантной эвтектоидной реакции $\alpha \rightarrow \alpha_2 + \gamma + \square\square$ которая, согласно расчету, должна протекать в системах с ниобием, молибденом, хромом, вольфрамом и марганцем. Температура этой реакции варьируется от 1095 °С (в системе Al–Ti–W) до 1036 °С (в системе Al–Ti–Mn).

5. Показано, что фазовый состав тройных сплавов, включая массовые доли разных фаз (α , β , γ , α_2 и др.) и концентрации в них элементов (Ti, Al, X), сильно зависит от температуры.

6. Проведено опытно-промышленное опробование технологии приготовления сплавов системы Al–Ti в индукционной вакуумной печи с холодным тиглем.

В области изготовления тонкостенных (менее 3 мм), крупногабаритных (более 1,0 м) отливок из титановых сплавов была проведена серия научно-производственных экспериментов, которая показала эффективность применения в производстве безмодельной технологии. Основными достоинствами этой технологии являются высокая и стабильная размерная точность литых деталей; отсутствие на поверх-

ности отливок альфированного слоя и, как следствие, исключение из технологической цепочки их изготовления экологически вредной линии травления; уменьшение длительности производственного цикла.

Хорошо известно, что в рыночных условиях успех при запуске в производство нового изделия существенно зависит не только от правильного выбора материалов для изготовления, но и от длительности цикла его подготовки: чем короче цикл подготовки, тем гарантированной вероятностью успеха. В свете отмеченного понятна значимость технологий ускоренной подготовки производства литых деталей и разработки новых литейных сплавов на базе алюминия, магния и титана в модернизации старых, в конструировании и изготовлении новых изделий в различных отраслях промышленности, в том числе в авиации и автомобилестроении.

Были использованы материалы, полученные на кафедре ЛТиХОМ в ходе выполнения работ в рамках РНФ, Федерально-целевой Программы (2.7), Постановления Правительства № 218 от 09.04.2010 г.