

Temperature dependence of the melts properties of the system Al-Si with content of silicon up to 16% (masses) and influence of the temperature regime of the alloys melting in liquid phase on the structure and properties of cast metal is studied. The temperature regimes of preparation of cast aluminium alloys in liquid phase providing dispersible phases at crystallizing and increase of mechanical properties of cast metal are established. Modification of form, sizes and character of distribution of primary and eutectic phases is the result of the regime of the temperature processing of alloy in liquid state. The formalized model of evolutions of the metal system condition is offered.

И. В. РАФАЛЬСКИЙ, А. В. АРАБЕЙ, Белорусский национальный технический университет

УДК 621.746

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПЛАВКИ НА СВОЙСТВА ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Проблема эволюций микронеоднородной структуры расплавов и ее влияние на свойства литых изделий является одной из наиболее сложных в литейном производстве. Важность решения этой проблемы заключается в том, свойства расплавов и, как следствие, структура и свойства получаемых отливок зависят не только от химического состава, но и от условий приготовления сплава в жидкой фазе. Как правило, это связано с проблемой учета влияния так называемой «металлургической наследственности» исходных шихтовых материалов на свойства расплава и в свою очередь жидкого состояния на процесс кристаллизации, структуру и свойства отливок, особенно при использовании различных методов физико-химического воздействия на расплав (модифицирования, рафинирования и т.д.). Решение этой задачи позволит не только обеспечить стабильность качества готовой металлопродукции, но и заранее прогнозировать структуру и свойства сплавов.

Современные теории структурообразования сплавов объясняют влияние жидкого состояния на структуру и свойства отливок процессами образования областей микронеоднородного строения, протекающими в жидкой фазе, и передачей (наследованием) структурной информации от расплава отливке. При этом состояние сплава в жидкой фазе может существенно изменяться в зависимости от условий выплавки (от температуры и скорости нагрева и охлаждения, времени выдержки при определенной температуре и т.п.). Эти изменения фиксируются аномальными (нелинейными) отклонениями различных физико-химических свойств расплавов (вязкости, плотности, электрического сопротивления и др.) [1, 2].

Однако, несмотря на большой практический интерес к проблеме эволюций структурной микронеоднородности расплавов Al-Si, природа протекающих в жидкой фазе превращений до конца не ясна. Открытыми, в частности, остаются воп-

росы о способах упорядочения атомов металлической жидкости, влиянии структурной организации расплава на морфологию, размер, характер распределения кристаллизующихся фаз и, в конечном итоге, на структуру и свойства литого изделия.

В качестве объекта исследований были выбраны алюминий (марки А99) и сплавы системы Al-Si с содержанием кремния от 10 до 16 мас. %. Постановка задачи включала в себя исследование температурного режима приготовления сплава в жидкой фазе на морфологию, размер и характер распределения выделяющихся при кристаллизации фаз, в значительной степени определяющих свойства отливок из силуминов.

Характер температурных зависимостей плотности Al-Si-расплавов изучали методом проникающего γ -излучения по ослаблению интенсивности потока γ -квантов, прошедших через тигель с расплавом при заданной температуре с относительной погрешностью измерений не более 0,15%. Для того чтобы обеспечить сопоставимость результатов измерений для сплавов различных составов, по диаграмме состояния Al-Si определяли температуру ликвидуса для изучаемого состава сплава и расчет значений интенсивности потока γ -квантов проводили относительно значений, полученных при температурах на 10–20 К выше температуры ликвидус.

Механические свойства сплавов (предел прочности при растяжении и относительное удлинение) определяли на универсальной разрывной машине типа УММ-20 на образцах в литом состоянии (полученных литьем в кокиль). Для металлографического анализа исследованных сплавов использовали шлифы, полученные из образцов для испытаний на механические свойства. Приготовление шлифов осуществляли путем механической полировки с последующей обработкой образцов в 0,5%-ном водном растворе HF.

Анализ результатов измерений плотности показал наличие перестроек структурной организации всех исследованных расплавов, в том числе однокомпонентного расплава алюминия (рис. 1). С повышением температуры расплава до 963–1003 К для всех составов наблюдается уменьшение плотности металлической жидкости. В наибольшей степени (до 2,5–3,0%) разуплотнению после плавления подвергали сплав, близкий к эвтекти-

ческому составу Al–12,5%Si, в наименьшей степени (до 1%) – заэвтектический сплав Al–16%Si. В интервале температур 1063–1133 К для сплавов с содержанием кремния от 10 до 12,5% плотность расплава с повышением температуры изменялась незначительно, а для сплава с содержанием кремния 16% наблюдалось обратное явление – плотность расплава монотонно увеличивалась (на 1,0–1,5%) вплоть до температуры 1240 К.

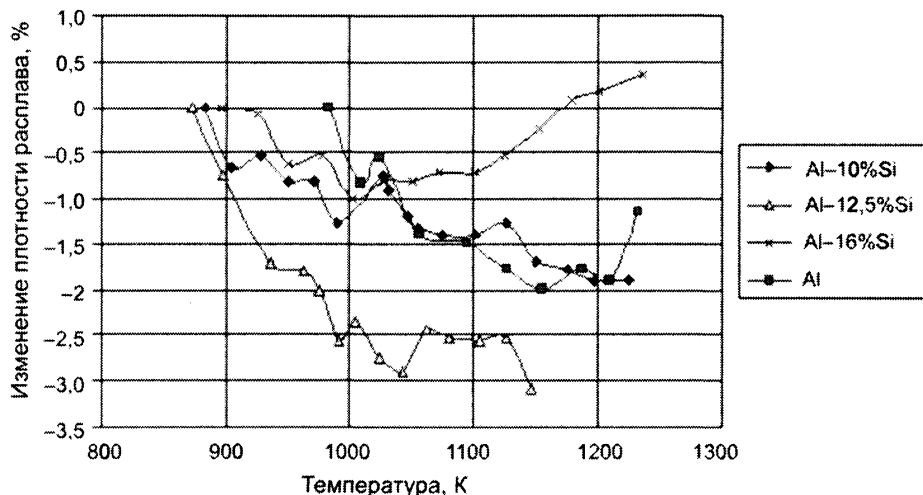


Рис. 1. Влияние температуры на изменение плотности сплавов Al–Si в жидком состоянии

Полученные результаты свидетельствуют о том, что плавление силуминов с содержанием кремния от 10 до 12,5% Si и дальнейшее повышение температуры расплава сопровождаются постепенным уменьшением координационного числа и снижением коэффициента компактности упаковки атомов системы. В расплавах Al–Si-систем с содержанием кремния 16% кремния повышение температуры приводит к появлению в расплаве микрообластей со структурой и координационными числами, характерными для более компактной структуры.

Анализ результатов металлографических исследований показал, что нагрев и выдержка сплавов системы Al–Si в жидкой фазе при различных температурах приводят к существенным изменениям морфологии фаз сплавов (рис. 2). В зависимости от режима температурной обработки исследованных сплавов происходит изменение формы, размеров и характера распределения первичных кристаллов фазы α -Al и эвтектических фаз. Повышение температуры нагрева исследованных сплавов в жидкой фазе до 1083–1123 К приводит к появлению более регулярной структуры с равномерным распределением кремния, без четко выраженных выделений эвтектических колоний. Форма кристаллов эвтектического кремния меняет свою морфологию от тонкой пластинчатой или волокнистой к более компактной.

Результаты испытаний механических свойств исследованных сплавов показали, что изменение

температурного режима обработки сплава в жидком состоянии приводит к значительному разбросу значений предела прочности при растяжении и относительного удлинения. Так, изменение предела прочности в зависимости от режима термической обработки расплава Al–10% Si составило для литых образцов от 190 до 240 МПа, относительного удлинения – от 3,2 до 5,5%, для сплава Al–12,5%Si соответственно от 175 до 235 МПа и от 3,5 до 5,7%. При этом максимальные значения механических свойств были получены для сплавов, температура нагрева и выдержки которых в жидкой фазе составляла 1083–1123 К.

Полученные результаты можно объяснить влиянием протекающих в жидкой фазе изменений структурной организации металлической системы на атомарном уровне [3]. Атомы в металлической системе в конденсированном состоянии располагаются на таком расстоянии друг от друга, при котором энергия взаимодействия минимальна. Этому значению энергии взаимодействия атомов соответствует определенный тип упорядочения атомов, характеризующийся некоторыми определенными значениями межатомных расстояний и угловых соотношений.

Если обозначить через R_{ij} межатомные расстояния, а через Y_{ij} угловые соотношения для i возможных структурных состояний в j -й фазе (жидкой или твердой), то эволюции конденсированного состояния вещества (S_j) в зависимости от температуры в формализованном виде можно представить следующим образом:

$$S_j = \begin{cases} R_{i2} : \text{const}, & Y_{i2} : \text{var}, \\ R_{i1} : \text{const}, & Y_{i1} : \text{const}, \end{cases}$$

где $j=1$ соответствует твердому и $j=2$ – жидкому состоянию; var, const – обозначение соответственно вариативности (изменчивости) и постоянства параметров R_{ij} и Y_{ij} .

В жидкой фазе ($j=2$) интенсивность колебательных движений атомов металлической системы такова, что угловые соотношения (в зависимости от температуры) могут изменяться в широком диапазоне, что и обуславливает малую сдвиговую прочность жидкой металлической системы в целом. При этом основным является не амплитуда, а вращательный характер колебательных движений атомов вокруг центров равновесия. Однако при этом между атомами сохраняется энергетически выгодное расстояние, соответствующее минимальной энергии взаимодействия для данной температуры и состава, и соответствующий им (энергетически выгодный) тип структурной организации системы. Изменение энергии межатомного взаимодействия атомов системы при изменении температуры приводит к изменению расстояния между атомами, соответствующему минимуму суммарной энергии взаимодействия, и система переходит в новое структурированное состояние. Такой переход в жидкой фазе сопровождается наблюдаемыми изменениями на политермах плотности исследованных расплавов и приводит к изменениям морфологии первичных и эвтектических фаз, выделяющихся при кристаллизации.

Практическая значимость полученных результатов определяется возможностью выбора оптимальных температурных режимов плавки промышленных сплавов, обеспечивающих получение отливок высокого качества как в существующих технологических процессах, так и при разработке новых процессов производства литейной продукции. Область применения результатов работы – литейные предприятия и цеха предприятий, специализирующиеся на производстве отливок из алюминиевых сплавов, а также предприятия по переработке отходов литейных алюминиевых сплавов.

Литература

1. Юркевич Н.П., Рафальский И.В. Макрокинетика структурной микронеоднородности в сплавах системы Al–Si при высоких температурах // Материалы VII Международ. науч.-техн. конф. «Technologia 2001». Братислава, 11–12 сент. 2001г. Братислава, 2001. Т.2. С. 512–516.
2. Необратимые изменения плотности расплавов Al-Si при высоких температурах / П.С.Попель, Е.Л. Демина,



а



б



в

Рис. 2. Влияние температурной обработки сплава в жидком состоянии на микроструктуру сплава Al-12,5% Si. Травлено 0,5% HF: а – 963 К; б – 1003; в – 1083 К. х200

Е.Л. Архангельский, Б.А. Баум // Теплофизика высоких температур. 1987. Т.25, №3. С. 487–491.

3. Арабей А.В., Рабцевич А.В. Физическая модель металлической жидкости // Материалы V Республ. студ. науч.-техн. конф. «Новые материалы и технологии их обработки». Мн., апрель 2004 г. Мн., 2004. С. 5–7.