

УДК 669.716:621.744

Т.С. Махмуод (асп., каф. СиС), А.А. Казаков, д.т.н., проф.

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТАВОВ ТИКСОТРОПНЫХ СПЛАВОВ

Возможность обработки сплавов в полутвердом состоянии была установлена в начале 1970-х годов, однако коммерческое использование технологии полутвердой формовки (ПТФ) началось лишь в последние десять лет. Наиболее широкое применение ПТФ находит в автомобильной и авиационной отраслях промышленности. Технология ПТФ совмещает в себе элементы литья и штамповки и состоит из трех технологических операций, проводимых последовательно: производство “предматериала” или реолитье (1), его повторный нагрев (2) и формовку полутвердой заготовки (3). “Предматериал” производят за счет разных методов воздействия: либо на жидкий сплав, вводя в него модификаторы и поверхностно-активные элементы (ПАЭ), либо на полутвердый сплав при его магнитогидродинамическом (МГД) литье, либо, наконец, на твердый сплав за счет его последовательной горячей и холодной пластической деформации. Все эти способы обеспечивают равноосную или дефрагментированную дендритную структуру, которая сфероидизируется за счет освальдовских механизмов при последующем повторном нагреве в полутвердом состоянии.

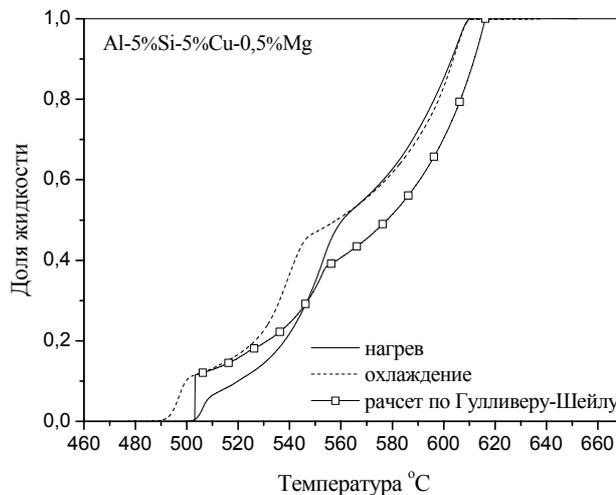
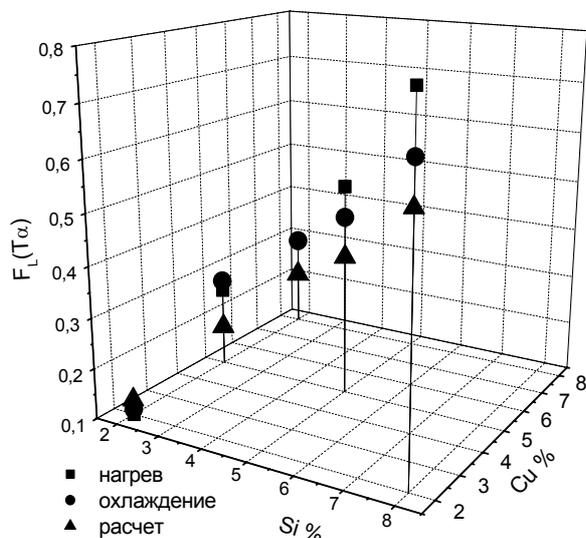
Поскольку, не каждый сплав может быть получен методами ПТФ, сплавы должны быть выбраны особым образом. Фундаментальной основой для исследований особенностей формирования тиксотропной структуры, характерной для сплавов, предназначенных для процесса тиксолитья, является зависимость доли жидкости от температуры. Эту характеристику можно получить, исходя из результатов, полученных методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), или путем расчетов, используя термодинамические методы исследования жидких и затвердевающих сплавов. Методы термодинамического моделирования дают хорошие результаты, и могут заметно сократить длительные и дорогостоящие экспериментальные исследования.

В работах авторов [1], были разработаны принципы поиска перспективных составов сплавов для технологии ПТФ. Поиск основан на анализе кривой “доля жидкости от температуры” в затвердевающем сплаве, полученной методом термодинамического моделирования. Расчеты были выполнены для сплавов на основе алюминия, магния, цинка, олова и чугуна. Найдены наиболее важные параметры на кривой “доля жидкости от температуры”. Температура начала плавления α -твердого раствора (T_∞). Это наиболее важный параметр кривой. При нагреве сплава в точке T_∞ эвтектика расплавляется полностью, а α -твердый раствор только начинает растворяться в эвтектическом расплаве. Положение точки T_∞ должно быть в окрестности температуры, соответствующей $F_L(T_\infty)=50\%$ жидкости, точнее $T_{40}<T_\infty<T_{60}$. Рабочий диапазон температур $\Delta T_w=T_{60}-T_\infty$ должен быть достаточно большим по вышеназванным причинам, чтобы обеспечить возможность перегрева заготовки без заметного изменения соотношения жидкость-твердое. Разница температур $\Delta T_w=T_{60}-T_\infty$ определяет кинетику глобуляризации дендритов во время повторного нагрева. В работе авторов [2], была использована коммерческая программа ChemSage [3], как инструмент термодинамического моделирования, для выполнения расчетов и построения кривых “доля жидкости от температуры” для алюминиевых сплавов. Результаты расчетов показывают, что система Al-(5-7)%Si-(2-5)%Cu-(0-1)%Mg имеет наилучшие параметры, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к технологии полутвердой формовки. Также показано, что параметры кривой для заэвтектических сплавов не удовлетворяют вышеназванным требованиям к составу полутвердых материалов.

В настоящей работе, с целью проверки правильности термодинамических расчетов, проводилось исследование методом ДСК для алюминиевых сплавов. Этим методом были

выполнены исследования для Al-Si-Cu и Al-Si-Cu-Mg сплавов, имеющих следующий состав: (1) Al-2%Si-2%Cu, (2) Al-8%Si-2%Cu, (3) Al-2%Si-5%Cu, (4) Al-2%Si-8%Cu, и (5) Al-5%Si-5%Cu-0,5%Mg. Также для сравнения приведены результаты исследования сплава A357 (Al-7%Si-0,5%Mg-0,5%Fe). Для каждого сплава производилось в среднем по три опыта, включающих в себя нагрев и охлаждение образца. Скорость нагрева или охлаждения использовали одинаковую для всех сплавов, равную 5°C/мин. Первичные экспериментальные данные в виде кривой “поток тепла от температуры” были получены в виде массива, численным интегрированием которого получали кривую “доля жидкости от температуры”.

На рис. 1 приведены обобщенные сравнительные результаты расчетных и экспериментальных значений параметра $F_L(T_\infty)$ для системы Al-Si-Cu. На рис. 2 представлены экспериментальные и расчетные кривые “доля жидкости от температуры” для систем Al-Si-Cu-Mg. Результаты показывают, что расчетные данные дают правильные оценки влияния различных легирующих элементов на критические точки кривой “доля жидкости от температуры”, что позволяет использовать расчеты для оптимизации состава сплавов для технологии ПТФ. Расчетные точки температур начала плавления α -твердого раствора всегда лежат между соответствующими точками, определенными экспериментально при нагреве и охлаждении. При этих температурах доли жидкой фазы по расчету всегда на 15-10% ниже значений, полученных в эксперименте при нагреве-охлаждении, соответственно. Завышенные значения доли жидкости, обнаруженные при экспериментальных исследованиях, объясняются разницей в энтальпиях плавления α -твердого раствора и эвтектики. Поэтому при интегрировании кривой “поток тепла от температуры” следует учитывать парциальные вклады энтальпий плавления в интегральную энтальпию плавления сплава в целом. Для реализации такого интегрирования необходимо проведение серии дополнительных ДСК-исследований в области составов, отвечающих чистым структурным составляющим (α -твердого раствора и всех эвтектик), или использовать при интегрировании соответствующие расчетные данные.



ЛИТЕРАТУРА:

1. Т.С. Махмуод, А.А. Казаков. Фундаментальные основы выбора состава сплава для обработки в полутвердом состоянии. VI всероссийская конференция по проблемам науки и высшей школы, СПбГПУ. 6-7 июня 2002 года. С.166-167.
2. Kazakov A., Samir T. and Frage N., the 10th Israel materials engineering conference, IMEC– 10, Oral Presentations, February 5-7, 2002, pp. 33.
3. Ericsson G. and Hack K., “ChemSage- a computer program for the calculation of complex chemical equilibria”, Met. Trans. B, 1990, vol. 21B, pp. 1013-1023.