

Институт металлургии УрО РАН

НИЗКОЧАСТОТНАЯ КАВИТАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА АЛЮМИНИЕВЫХ РАСПЛАВОВ

Разработанная авторами методика низкочастотной акустической обработки расплавов дает возможность получить развитую кавитацию в объеме металла, которая вызывает изменение условий кристаллизации и плавления. Применение низкочастотной кавитационной обработки к алюминиевым расплавам способствовало измельчению структуры интерметаллидов, увеличению плотности и электросопротивления, снижению газосодержания и увеличению прочностных свойств литого металла.

Известно [1] влияние ультразвуковой обработки жидких легкоплавких металлов в режиме кавитации на процессы их кристаллизации.

Нами разработана методика [2], позволяющая выходить в режим развитой кавитации при низкочастотной акустической обработке расплавов в объеме (на частотах до 100 Гц). Обработку алюминиевых расплавов проводили с помощью виброгенератора мощностью 1,2 кВт в графитовом тигле графитовым кавитатором с покрытием из нитрида бора в течение трех минут при температурах от 1070 до 1200 К. Объем обрабатываемого расплава составлял от 60 до 100 см³.

Для приготовления алюминиевых сплавов использовали алюминий марки "ч" и промышленные лигатуры Al-Sc, Al-Ti и Al-Zr. По ходу опыта до и после обработки отбирали пробы металла.

Влияние низкочастотной кавитационной обработки на изменение условия кристаллизации и плавления изучали методом дифференциального термического анализа на калориметре "SETARAM HT-1500". Термограммы образцов массой ~70 мг снимали в режимах нагрева и охлаждения со скоростью 2 К/мин в атмосфере аргона.

Термограммы образцов чистого алюминия приведены на рис.1. Как видно из кривых нагрева, в результате обработки максимум теплового эффекта плавления и температура окончания этого процесса снижаются на 1,5...2 К. На кривых охлаждения влияние обработки проявляется сильнее: минимум теплового эффекта кристаллизации и температура начала этого процесса повышаются на 2,5...3,0 К. Это свидетельствует о большем приближении расплава к состоянию равновесия после кавитационной обработки.

Известно, что процесс кристаллизации (плавления) металла начинается по достижении некоторого переохлаждения (перегрева), т.е. по достижении порога метастабильности, определяемого разностью между равновесной и фактической температурами. В литературе обычно

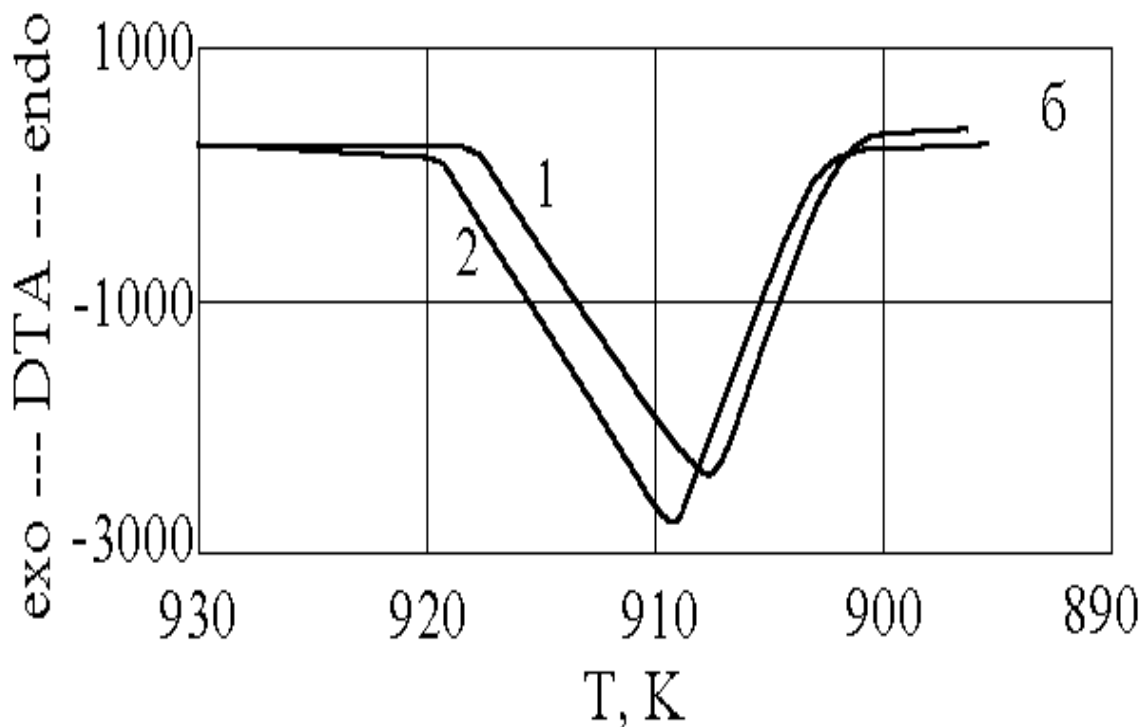
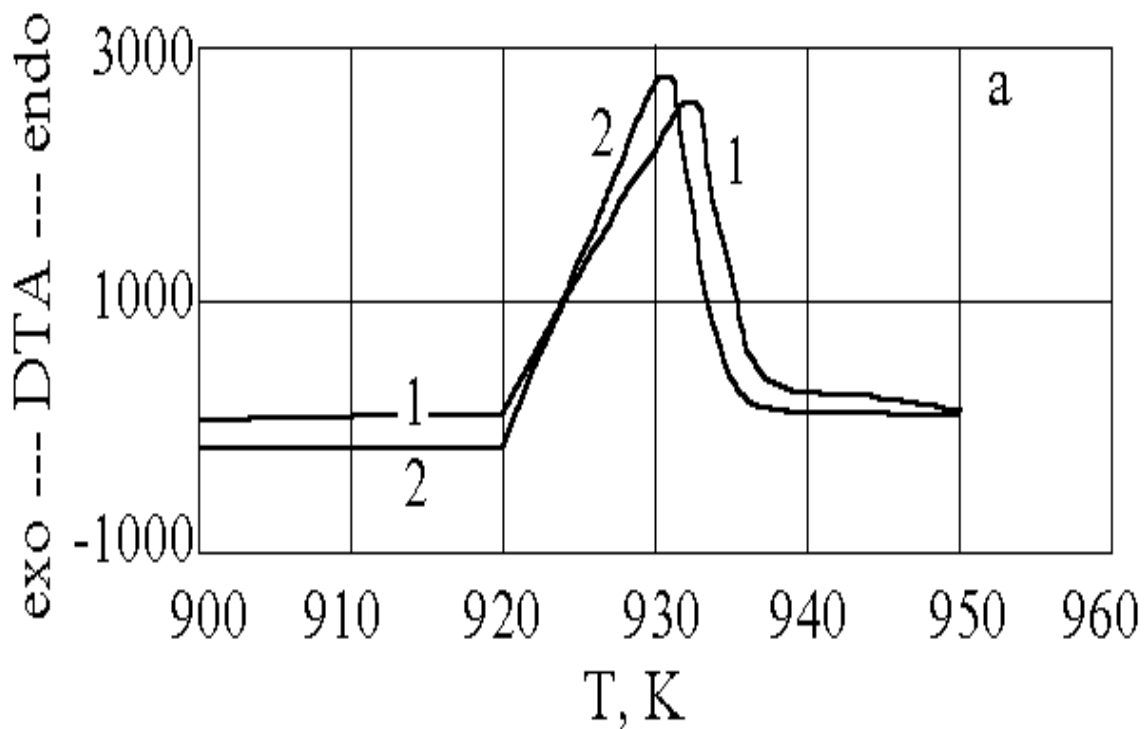


Рис.1. Термограммы образцов чистого алюминия.

рассматривается порог метастабильности, соответствующий переохлаждению, при котором скорость зарождения центров кристаллизации становится практически измеримой. Нами же определялась область метастабильности, включающая в себя переохлаждение и перегрев, необходимые для начала кристаллизации и плавления, и характеризующая

при данных (постоянных) условиях снятия термограмм степень удаленности системы от равновесия.

Найденные по данным термограмм области метастабильности алюминия и его сплавов со скандием, титаном и цирконием до и после кавитационной обработки приведены на рис.2. Как и следовало ожидать, малые растворимые добавки элементов, снижающих поверхностное натяжение расплава, уменьшают область метастабильности [3]. Так, по нашим данным добавка 0,2 мас.% Sc уменьшает область метастабильности на 7 К, 0,5 % Ti на 8 К, 0,5 % Zr на 10,5 К. Это хорошо коррелирует с изменением поверхностного натяжения алюминия под влиянием добавок этих элементов (по данным [4] - рис. 2г). Низкочастотная кавитационная обработка этих расплавов, способствуя ускорению диффузионных процессов, уменьшает область метастабильности еще на 1,5...3,5 К.

По достижении предела растворимости элемента-модификатора в алюминии, который для рассматриваемых нами элементов при температуре эвтектического или перитектического превращений составляет от 0,2 до 0,3 мас.% [5-7], имеет место некоторое увеличение области метастабильности на 1,0...3,5 К, наблюдаемое как в необработанных, так и в обработанных сплавах. Это увеличение, по-видимому, связано с ростом энергии активации процесса диффузии алюминия из-за концентрации нерастворимого элемента на поверхности возникающего зародыша α - фазы.

Известно [8], что выделяющиеся интерметаллиды скандия, титана и циркония, обладающие структурным сходством с кристаллами α - фазы, могут служить центрами кристаллизации. Чем больше таких центров, тем при меньшем переохлаждении начнется процесс кристаллизации, а значит область метастабильности уменьшится. Из рис.2 видно, что в расплавах алюминия со скандием и титаном при содержании последних выше 0,5 и 1,0% область метастабильности начинает уменьшаться. Кавитационная обработка этих сплавов, способствующая измельчению интерметаллидов, уменьшает область метастабильности еще на два-три Кельвина. В сплавах алюминия с цирконием роль интерметаллидов как центров кристаллизации не проявилась, по-видимому, из-за присутствия железа до 0,1 % (в лигатуре). Химические соединения железа с алюминием, а также тройные соединения Al (Zr, Fe) не обладают структурным сходством с кристаллами α - фазы и поэтому не могут служить зародышами кристаллизации [9]. Трехминутной акустической обработки промышленной лигатуры Al-Zr оказалось недостаточно для такого влияния на интерметаллиды, которое могло бы отразиться на области метастабильности.

Роль низкочастотной акустической обработки (в режиме кавитации) в измельчении интерметаллидов особенно хорошо проявилась на сплавах алюминия, содержащего 2 мас.% Sc. Микрорентгеноспектральный анализ образцов этого сплава до и после обработки показал значительное измельчение интерметаллидов Al_3Sc . Если в необработанном металле интерметаллиды имеют форму неправильных неравномерно

распределенных многоугольников размером до 100 мкм, то после обработки расплава в алюминиевой матрице наблюдается множество мелких до 3...7 мкм интерметаллидов, равномерно распределенных по сечению шлифа.

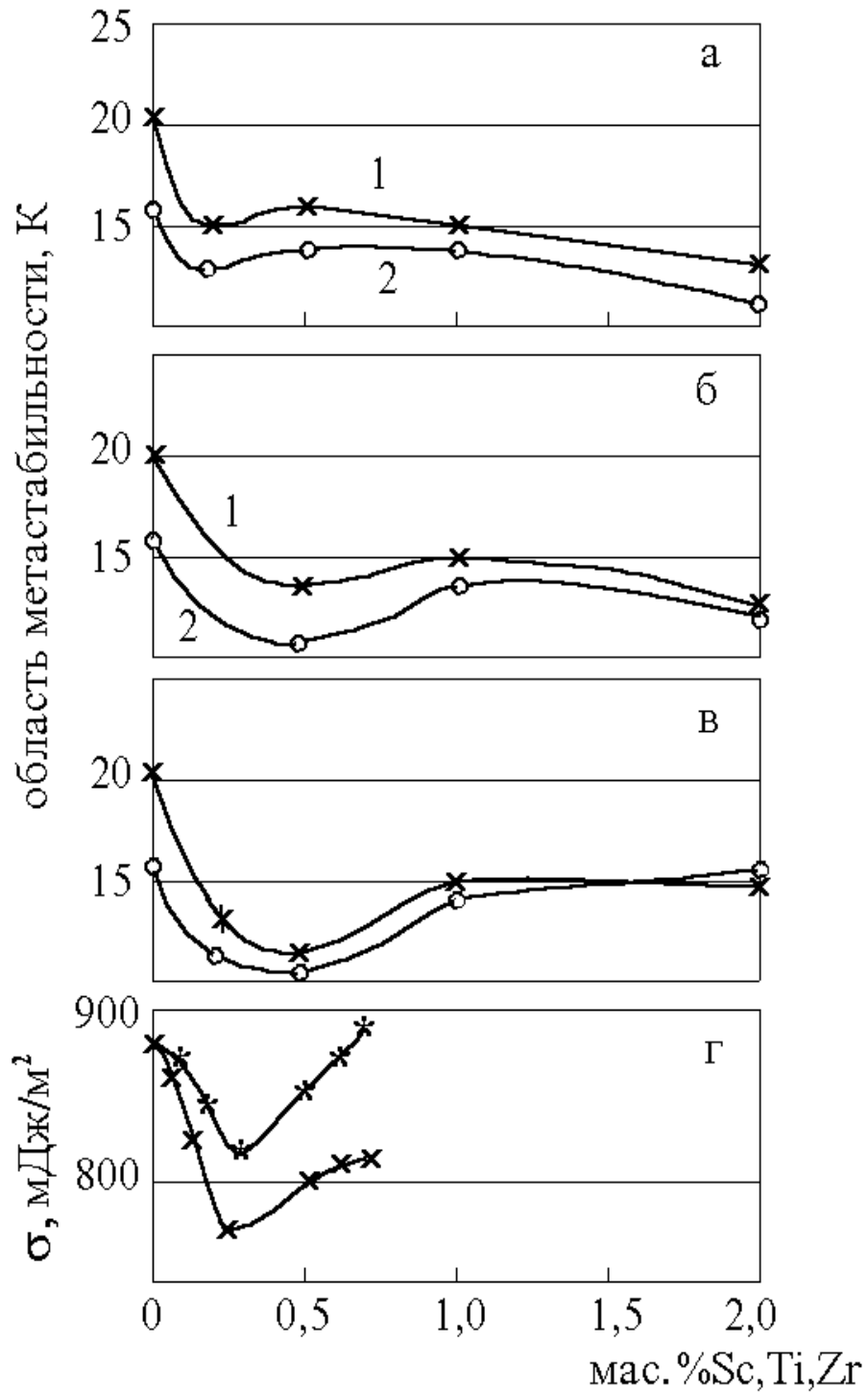


Рис. 2. Области метастабильности алюминия и его сплавов со скандием, титаном и цирконием до и после кавитационной обработки.

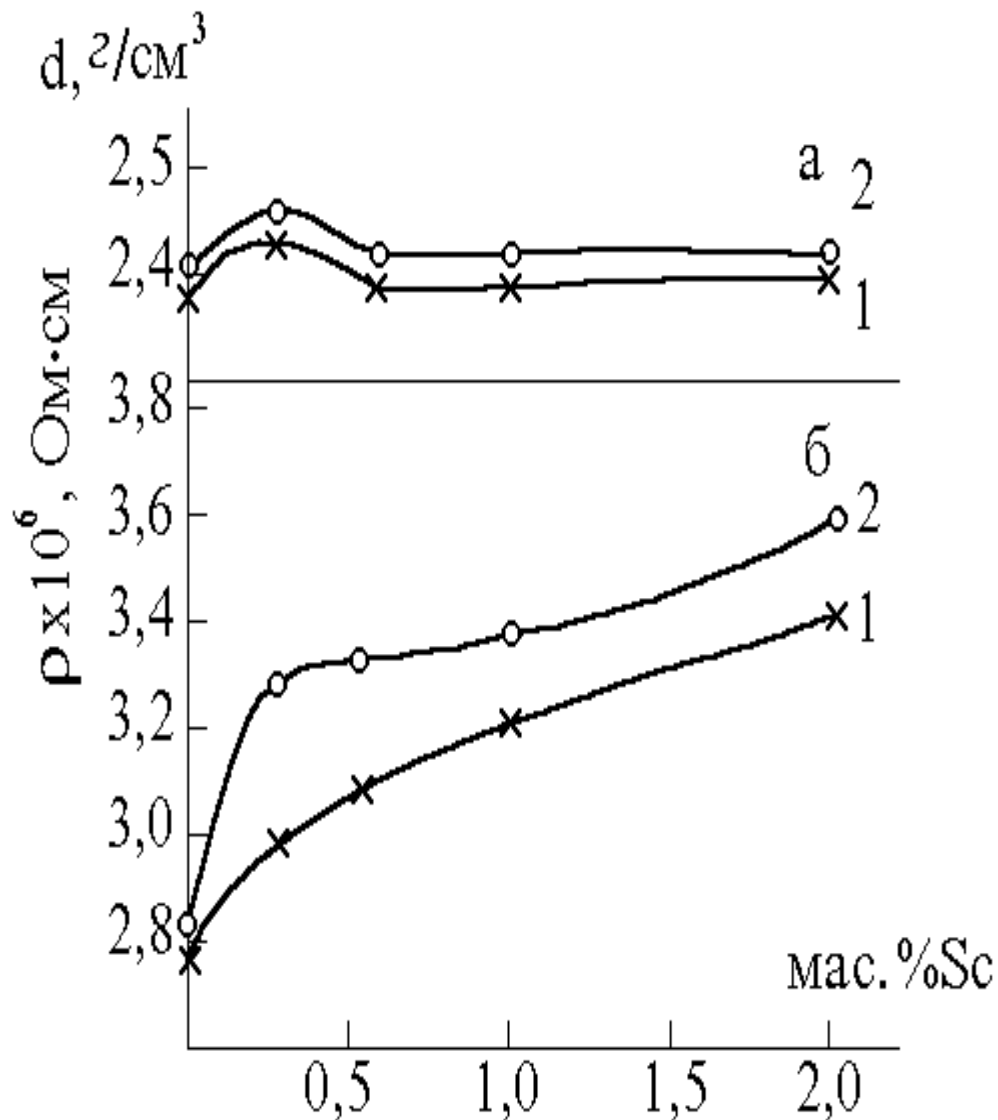


Рис.3. Увеличение плотности и электросопротивления сплавов Al-Sc после обработки.

Измельчение интерметаллидов и микроструктуры, повышение однородности металла в результате обработки способствовало улучшению его свойств. Так, на 1...2% увеличилась плотность и на 7% электросопротивление сплавов Al-Sc после обработки, что видно из рис.3. Снизилось газосодержание, например, для сплава с 2 мас.% Sc с 0,0403 до 0,0333%. Увеличился параметр кристаллической решетки алюминия, что, по-видимому, связано с характером распределения примесных фаз.

Улучшение структуры литого металла, вызываемое кавитационной обработкой, влечет за собой улучшение свойств. Так, обработка расплава с 0,3% Sc способствовала увеличению предела прочности литого металла на 34%, еще на 27% предел прочности увеличился в ре-

зультате гомогенизирующего отжига, в то время как отжиг необработанного сплава способствовал увеличению прочности на 26%.

Работа выполнена при содействии Российского фонда фундаментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов О.В. Кристаллизация металлов в ультразвуке. - М.:Металлургия, 1972. - 256 с.
2. Телицин И.И., Пастухов Э.А., Ватолин Н.А. Использование низкочастотной кавитации для смешения расслаивающихся расплавов цинк-свинец. ДАН, 1972, т.322, № 5, с.899-901.
3. Данилов В.И. Строение и кристаллизация жидкости. -Киев: Изд-во АН Укр.ССР, 1956. - 568 с.
4. Замятин В.М. Разработка и внедрение способов повышения качества отливок и слитков на основе результатов исследований структурно-чувствительных свойств алюминиевых расплавов: Дис. на соискание уч. ст. докт. техн. наук. - Свердловск, 1990. - 429 с.
5. Диаграммы состояния металлических систем. 1990.- Вып.35. Т.1. - С.38.
6. Диаграммы состояния металлических систем. 1990.- Вып.35. Т.1. - С.56-58.
7. Диаграммы состояния металлических систем. 1989.- Вып.34. - С.38.
8. Бондарев Б.И., Напалков В.И., Тарарышкин В.И. Модифицирование алюминиевых деформируемых сплавов. -М.:Металлургия, 1979. -224 с.
9. Эскин Г.И. Ультразвуковая обработка расплавленного алюминия. -М.:Металлургия, 1965. - 224 с.

Поступила в редакцию 7 марта 1995 г.