**ОБЪЕМНЫЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ МЕДЬ-АЛЮМИНИЙ**

**ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ ГАММА-МЕТОДОМ**

Курочкин А.Р.1) , Попель П.С.2) , Борисенко А.В.1) , Сидоров В.Е.2)

*1)Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС РФ, Россия, Екатеринбург, ул.Мира, 9. E-mail: alexzandrr@mail.ru*

*2)Уральский государственный педагогический университет, Россия, Екатеринбург, пр.Космонавтов, 26. E-mail:* *pspopel@mail.ru*

Целью данной работы было экспериментальное исследование температурных и концентрационных зависимостей плотности расплавов медь-алюминий и температур их перехода из метастабильного микрогетерогенного состояния в состояние истинного раствора.

Плотность *ρ* определяли по поглощению исследуемым образцом узкого пучка гамма-квантов. При оценке погрешности измерений плотности в стандартную методику авторами внесено уточнение, учитывающее большую разницу плотностей компонентов системы *Cu-Al*. По уточненным расчетам, относительная погрешность составила *± 0.2%*. Проверочные опыты с жидкими алюминием и медью показали, что полученные в них значения плотности не уступают по точности наиболее надежным литературным данным. Расхождения кривых *ρ(T)*, полученных в ходе нагрева и охлаждения этих металлов, которые выходили бы за пределы оцененной погрешности измерений, не отмечено. Это позволяет рассматривать зафиксированный в дальнейшем гистерезис температурных зависимостей плотности бинарных расплавов как объективно наблюдаемый эффект.

Исследованы 17 сплавов *Сu-Al* различной концентрации, охватывающих концентрационный интервал от 10 до 95 ат. % второго компонента. Поскольку 13 из них были гетерогенными в твердом состоянии, после их плавления ожидалось формирование метастабильных микрогетерогенных расплавов, в которых сосуществуют дисперсная и дисперсионная фазы и которые становятся гомогенными только после перегрева над ликвидусом до специфических для каждого состава *температур гомогенизации*.

Наиболее общей чертой полученных зависимостей *ρ(Т)* является расхождение ветвей нагрева и охлаждения (*гистерезис*). Это свидетельствует о существенных и необратимых изменениях строения просвечиваемой зоны в большинстве исследованных образцов. При достижении температур, близких к точкам ветвления температурных зависимостей плотности при нагреве и последующем охлаждении (около 13000С в большинстве сплавов), происходило необратимое разрушение этой микрогетерогенности и система переходила в термодинамически устойчивое состояние истинного раствора, которое и сохраняла при последующем охлаждении вплоть до начала кристаллизации.

Наиболее неожиданным результатом наших опытов явилось обнаружение ярко выраженного гистерезиса плотности расплавов, полученных при плавлении гомогенных кристаллических образцов стехиометрических составов *CuAl* (*50 % Al*) и особенно *CuAl2* (*67.8 % Al*). Наши коллеги Р.Е.Рыльцев и Л.Д.Сон в работе [1] пишут о возможности сохранения прочных межатомных связей, свойственных наиболее тугоплавким интерметаллидам изучаемой системы (Cu3Al), при плавлении сравнительно низкоплавких соединений, подобных *CuAl* и *CuAl2*. Мы предполагаем, что на основе этих связей возможно формирование соответствующих дисперсных интерметаллических фаз. В этом случае избыточный алюминий образует дисперсионную среду низкой плотности, в которой частицы тугоплавкого интерметаллида оседают под действием гравитации. В нашей работе приводятся некоторые аргументы, косвенно подтверждающие реальность этой гипотезы.

На основании изложенных выше результатов, в качестве значений плотности и других объемных свойств, соответствующих термодинамически устойчивым гомогенным растворам медь-алюминий, мы использовали величины, полученные в ходе охлаждения образцов от максимальной температуры (обычно около *1400°С*).

Температурные зависимости плотности с коэффициентами корреляции *R*, приведенными в Табл.1, могут быть аппроксимированы линейными функциями:

 , (1)

где *ρL* – плотность при температуре ликвидуса *TL*, . Параметры линейной аппроксимации (1) также приведены в Табл.1. По этим данным на рис.1 методом сплайн-аппроксимации построены изотермы плотности расплавов *Cu–Al*.

На рис. 2 по данным таблицы 1 построена концентрационная зависимость коэффициента объемного расширения расплавов медь-алюминий. Она очень сложна, что отражает сложность диаграммы состояний этой системы. Обращают внимание экстремумы этой кривой при составах, соответствующих интерметаллическим соединениям *Cu3Al*, *Cu2Al*, *CuAl*, и *CuAl2*. Их наличие наводит на мысль о возможном существовании подобных атомных группировок и в жидком состоянии.

Используя полученные значения плотности, рассчитали концентрационные зависимости молярного объема  расплавов *Cu-Al* . Эти кривые существенно немонотонны, особенно в области концентраций от *50* до *90 %*, причем разброс точек относительно любой сглаживающей кривой существенно превосходит погрешность измерения плотности, а значит, и молярного объема.

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Концентрация алюминия,ат.% | *TL*, ºС | *ρL*, кг м-3 | *ΔρL* кг м-3 | α, 10-5ºС -1 | Δα, 10-5ºС -1 | R |
| 0 | 1084 | 7970 | 20 | 9,0 | 0,2 | 0,961 |
| 5 | 1060 | 7820 | 10 | 9,6 | 0,1 | 0,994 |
| 10 | 1075 | 7320 | 10 | 9,7 | 0,1 | 0,995 |
| 18 | 1032 | 7010 | 10 | 10,3 | 0,1 | 0,995 |
| 25 | 1049 | 6700 | 10 | 11,9 | 0,1 | 0,996 |
| 30 | 1040 | 6220 | 10 | 11,4 | 0,1 | 0,994 |
| 34 | 1022 | 6010 | 10 | 12,1 | 0,1 | 0,995 |
| 40 | 960 | 5640 | 10 | 11,5 | 0,2 | 0,992 |
| 45 | 900 | 5420 | 7 | 10,8 | 0,1 | 0,992 |
| 50 | 850 | 5299 | 8 | 10,1 | 0,1 | 0,993 |
| 55 | 790 | 4938 | 5 | 10,0 | 0,1 | 0,994 |
| 60 | 700 | 4345 | 5 | 10,9 | 0,1 | 0,995 |
| 65 | 620 | 4238 | 4 | 10,80 | 0,08 | 0,997 |
| 67,8 | 591 | 3881 | 3 | 8,13 | 0,09 | 0,994 |
| 75 | 580 | 3691 | 3 | 8,4 | 0,1 | 0,994 |
| 82,9 | 550 | 3239 | 3 | 9,5 | 0,1 | 0,995 |
| 90 | 650 | 2952 | 3 | 9,7 | 0,1 | 0,991 |
| 95 | 640 | 2575 | 3 | 12,1 | 0,1 | 0,996 |
| 100 | 661 | 2374 | 3 | 12,4 | 0,1 | 0,986 |

Рис.1.



Рис.2.

1. R.E.Ryltcev, L.D.Son. *Physica B.* **406** (2011) 3625.