

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВЛЕНИЯ-КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЗОЛОТА**

**Латыпова О.И.**

**Научный руководитель – профессор, д-р техн. наук Биронт В.С.,  
доцент Лопатина Е. С.**

*Сибирский федеральный университет*

Золото обладает самой высокой стойкостью к воздействию агрессивных сред, оно очень технологично, из него легко изготавливают сверхтонкую фольгу и микронную проволоку. Золото хорошо паяется и сваривается под давлением, покрытия золотом легко наносят на металлы и керамику. Такая совокупность полезных свойств золота послужило причиной широкого использования его сплавов в важнейших современных отраслях техники: электронике, технике связи, космической и авиационной технике, химии, ювелирной промышленности.

Теоретической основой создания сплавов с заданными свойствами является диаграмма состояния, в которой заложена информация о характере взаимодействия компонентов, температурах ликвидуса и солидуса, изменениях фазового состава и структуры в зависимости от химического состава и температур. Но во всех литературных источниках рассматриваются, как правило, только температуры ликвидуса, а температуры солидуса не показаны, не говоря уже о температурах неравновесного солидуса, которые вообще нигде не прописаны, т.к. считается, что благородные металлы не имеют никаких недостатков и неоднородностей в структуре, однако это не так.

Знание температур плавления сплавов представляет собой актуальную проблему, поскольку эти характеристики определяют температурные параметры получения изделий методами литья, обработки давлением, сварки, термической обработки и многих иных технологических процессов, использующих высокотемпературные режимы нагрева.

В данной работе усовершенствована методика расчета температуры плавления-кристаллизации сплавов на основе золота, что упростит задачу поиска оптимальных составов сплавов и даст возможность относительно простыми средствами получить широкий круг сведений о температурах плавления (ликвидус, солидус, неравновесный солидус) большого числа сплавов на основе золота.

В работе предлагается частное решение проблемы определения температурных значений ликвидус и солидус конкретных сплавов на основе использования информации из двухкомпонентных диаграмм. Предлагаемое решение ограничено областями кристаллизации приграничных твердых растворов, в которых поверхности, определяющие геометрическое место точек ликвидус и солидус, представляются непрерывными плавными криволинейными поверхностями второго порядка. Возможно развитие этого метода для анализа положения температур критических точек в других областях диаграмм, характеризующихся наличием аналогичных геометрических элементов в области внутренних квазибинарных разрезов сложных систем.

Предлагаемое решение основывается на принципе учета снижения (повышения) температуры плавления чистого компонента, составляющего основу сплава, при

введении в него того или иного количества легирующего компонента ( $\Delta T_i$ ) при создании сплава.

В основу расчетов закладываются фактические сведения о положении линий ликвидус и солидус, в зависимости от атомной концентрации легирующего компонента на двойной диаграмме, с рассматриваемым легирующим компонентом, в пределах тех концентраций, которые позволяют описать эти зависимости простыми функциями линейного приближения, которые и содержатся в составе программного обеспечения EXCEL. Такими функциями являются функции «РОСТ» и «ТЕНДЕНЦИЯ». Эти стандартные функции позволяют достаточно точно определять автоматически значение снижения температуры для любого заданного содержания соответствующего компонента, которые затем используются для вычислений температуры линий ликвидус и солидус для заданного химического состава многокомпонентного сплава.

Программа учитывает и то, что легирующие элементы могут не снижать температуру плавления, а, наоборот, повышать ее. Также учтено и то, что начало прямолинейных участков для расчета температур ликвидуса и солидуса сплавов может находиться не в точке температуры плавления чистого золота, а ниже или выше нее. Это требует введения в программу определенных вычислительных операций, предусматривающих это явление.

Поскольку составы сплавов в большинстве случаев на практике выражаются в массовых процентах, а суммирование эффектов снижения температур следует выполнять в атомных процентах, то частью программы является подпрограмма для пересчета массовых процентов в атомные, которые затем используются для определения эффекта снижения температуры плавления каждым вводимым в сплав легирующим компонентом.

Далее происходит программирование соответствующих ячеек электронных таблиц, позволяющих определять значения снижения температур плавления заданным количеством компонента системы по отношению к золоту, суммирование этих эффектов и, наконец, определение требуемой температуры ликвидус и солидус.

На рисунке 1 приведен заглавный лист программы для расчета температур ликвидус и солидус конкретных сплавов по заданному их химическому составу.

	A	B	C	D	E	F	G	
1	Легирующие компоненты в сплавах на основе Au	Суммы	Au		Ag-1		Ag-2	
2	Содержание компонентов, % (атомных)	100	100	0	0			
3	Атомный вес компонентов		196,96		107,87			
4	Произведение атомного веса на атомные проценты	19696	19696		0			
5	Содержание компонентов, % (по массе)	100	100		0			
6			Au		Ag(до 18%)		Ag(от 18 до 30%)	
7	Содержание компонентов, % (по массе)	100	75	0	0		25	
8	Атомный вес компонентов		196,96		107,87		107,87	
9	Отношение массовых процентов к атомному весу	0,6125484	0,380788		0		0,23176	
10	Содержание компонентов, % (атомных)	100	62,16455		0		37,83545	
11								
12								
13	Значение ликвидуса в двойных системах с Au		T пл Au	Tликв	C, %, ат.	Tликв	C, %, ат.	Tлик
14			1064,43	1064,43	0	1050	30	10
15				1063,8	2	1049,5	31	
16				1063,2	4	1048,8	32	
17			1043,615	1062,5	6	1047,5	33	1
18			или	1062	8	1047	34	
19			#ЧИСЛО!	1061,25	10	1046,1	35	

Рисунок 1 - Головной лист программы «Золото» для расчета температур ликвидус и солидус многокомпонентных систем

Верхние строки листа занимают две подпрограммы пересчета атомных процентов в массовые и обратного пересчета массовых процентов в атомные.

Выделенная полоса второй подпрограммы является строкой ввода химического состава сплава для определения его температуры ликвидус. Меняя концентрации легирующих компонентов, мы получаем температуры плавления ликвидус и солидус. Результат расчета сразу высвечивается в ячейке С17 или С19 в зависимости от характера влияния легирующего компонента на температуру плавления (снижение или увеличение).

В строках от 14 до 29 располагаются фактические данные об изменении температуры линий ликвидус в зависимости от содержания каждого из компонентов, в соответствии с двойными диаграммами фазового равновесия, которые появились за счет стандартных формул программного средства EXCEL. Использование таких функций позволяет автоматически определить степень снижения (увеличения) температуры ликвидус (солидуса), вызванного каждым легирующим элементом.

В строчке 31 заложена функция «ТЕНДЕНЦИЯ», с помощью которой мы видим изменение температур плавления.

В строке 32 указаны цифры 1 и -1. Цифра -1 показывает тот элемент при введении которого будут повышаться температуры плавления элемента, а значит, линии ликвидус или солидус будут идти вверх. Этими элементами являются: Pd и Cr.

Цифра 1 вводится для элементов, при которых линии ликвидуса и солидуса будут идти вниз, а температуры плавления понижаться относительно температуры плавления золота. Это такие компоненты как: Ag, Li, Cd, Ni, Ga, In, Pt, Zn, Sn, Ti, Mg, Fe, Cu, Co.

В строке 33 заложена разность температуры плавления золота и функции «Тенденция».

В строке 34, начиная со столбца D до столбца BC, возводится в квадрат разность из строки 33 и умножение на цифру 1(или -1 в зависимости от компонента).

В ячейке B34 расположена сумма ячеек со строки 33. В ячейке B35 взят корень ячейки B34.

В строке 40 в ячейках F, P, R, T, V, AL, AN, AP, AR, AT, AV и AX учитывается, что прямолинейный участок расчета может не совпадать с температурой плавления золота, путем разницы между температурой плавления чистого золота и температурой, рассчитанной функцией «ТЕНДЕНЦИЯ» при содержании второго компонента 0% ( $T_{\text{ош}}$ , рисунок 3.1).

В строке 42 в соответствующих ячейках функция «ЕСЛИ» выбирает значения температур тех элементов из строки 40, которые входят в сплав.

В ячейке B42 расположена сумма ячеек со строки 42.

Значение солидуса сплава находится в ячейке D36, которая окрашена в коричневый цвет. В этой же строке голубым цветом выделены ячейки в которых заложена функция «ТЕНДЕНЦИЯ», здесь также можно увидеть изменения температур плавления солидуса.

Для проверки расчетных результатов полученных в работе сделаем сопоставление температур ликвидус и солидус сплавов с экспериментальными данными уже известными (таблица 1).

Таблица 1 – Сопоставление результатов расчетов температур ликвидус и солидус для сплавов с экспериментальными данными

Состав сплава, %	Ликвидус, °С	Солидус, °С	Ликвидус, °С	Солидус, °С	Неравновесный солидус, °С	Источник
	экспериментальные		расчетные			
Au-58,5 Ag-41,5	1025-1030		1027,7	1026,0	1024,3	ГОСТ 30649-99
Au-75,0 Ag-25,0	1043,7	1042,3	1043,6	1042,2	1040,6	Диаграмма состояния Au-Ag
Au-94,5 Pd – 5,5	1198,0	1158,0	1197,8	1157,3	1118,5	Диаграмма состояния Au-Pd
Au-85,0 Pd- 15,0	1326,0	1292,5	1327,8	1291,7	1247,1	
Au-90,0 Cu-10,0	939,5	929,5	939,2	928,2	921,9	Диаграмма состояния Au-Cu
Au-60,0 Cu-40,0	944,2	937,0	944,9	936,8	930,8	

Сопоставлением показано, что результат расчетов полностью соответствуют данным, полученным экспериментально. Соответствие наблюдается для всех приведенных сплавов в данной таблице.

Таким образом, программное обеспечение «ЗОЛОТО», разработанное в известной электронной программе EXCEL дает возможность работать с двойными, а в перспективе с тройными и многокомпонентными системами, определять точно температуры плавления ликвидуса и солидуса (и неравновесного солидуса в том числе) в зависимости от различных концентраций вводимых компонентов.