

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЕРЕБРЯНОГО ЮВЕЛИРНОГО СПЛАВА БЕЛОГО ЦВЕТА 925 ПРОБЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЦЕПЕЙ

Усков Д. И., Аникин А. И.,  
научный руководитель д-р техн. наук Беляев С. В.  
*Сибирский федеральный университет*

Целью работы является получение новых составов серебряного ювелирного сплава белого цвета 925 пробы и проволоки на его основе со стабильными физико-механическими характеристиками для производства ювелирных цепей. Объектом исследований является разработка составов лигатур для выплавки сплавов на основе серебра.

Исходя из анализа научно-технической и патентной литературы, основой ювелирного сплава белого цвета 925 пробы для изготовления цепей является серебро, основными легирующими элементами – Cu и Zn и в качестве микродобавок взяли In – в качестве компонента, создающего фазы упрочнители, Sn – как компонента антисульфиданта и Si – в качестве модифицирующей добавки.

Составы выбранных сплавов и лигатур для них приведены в таблице.

Таблица 1.

	Элемент, %					
	Ag	Cu	Zn	In	Sn	Si
Сплав 1	93,0	4,47	2,30	0,07	0,09	0,07
Сплав 2	93,0	4,54	2,30	0,07	0,09	-
Лигатура для сплава 1	-	63,82	32,87	1	1,31	1
Лигатура для сплава 2	-	64,82	32,87	1	1,31	-

Серебрянные сплавы 1 и 2 были выплавлены из лигатур, учитывая их температуры ликвидус и солидус, рассчитанные по методике разработанной профессором Бирнотом В.С. таблица 2.

Был построен политемрический разрез системы Ag-Cu-Zn. Разрезы Ag-Cu-In, Ag-Cu-Sn и Ag-Cu-Si не строили в связи с тем, что In, Sn и Si являются микродобавками количество, которых, существенно не влияет на критические точки сплава.

Таблица 2.

Расчетные значения температур ликвидус и солидус для тройных сплавов, содержащих 93 % Ag и разные соотношения меди и цинка.

Cu(масс)	Zn	Ликвидус	Солидус
0	7	895	839
1	6	908	853
2	5	919	866
3	4	927,5	875
4	3	929	884
5	2	927	890
6	1	923	895
7	0	918	898

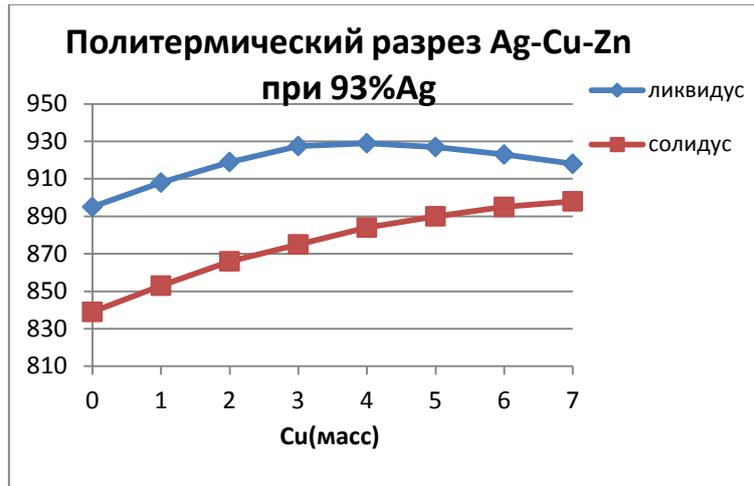


Рис. 1. Политермический разрез системы Ag-Cu-Zn, Содержание серебра 93 %

Структуры лигатур изучали в литом и термообработанном состояниях. По химическому составу эти лигатуры отличались только содержанием кремния, который присутствовал только в сплаве 1. Однако на структуру он оказал существенное модифицирующее влияние. Микроструктура лигатурного сплава 2 в литом состоянии состоит из дендритов, что говорит о его неравновесной кристаллизации.

Из политермического разреза (рисунок 1), видно, что минимальный интервал кристаллизации при содержании меди 7%, однако в составе 925 пробы должно быть определенное количество серебра, а поскольку требуются еще определенные свойства сплава, получаемые дополнительным легированием, то содержание меди в пределах 4,5 % дает разницу в температуре порядка 40 °С, что является приемлемым для деформируемого сплава. Большая часть литейных свойств зависит от эффективного температурного интервала кристаллизации сплава: чем больше интервал кристаллизации, тем меньше жидкотекучесть сплава, тем больше он склонен к образованию рассеянной усадочной пористости и горящих трещин.

Анализ результатов испытаний механических свойств показал, что максимальный предел прочности наблюдается у сплава 1, в начале образца содержащего кремний, и составляет  $\sigma_b=247,33$  МПа и  $\sigma_b=245$  МПа в конце слитка. У сплава 2 – соответственно  $\sigma_b=243$  МПа в начале и  $\sigma_b=241$  МПа в конце слитка.

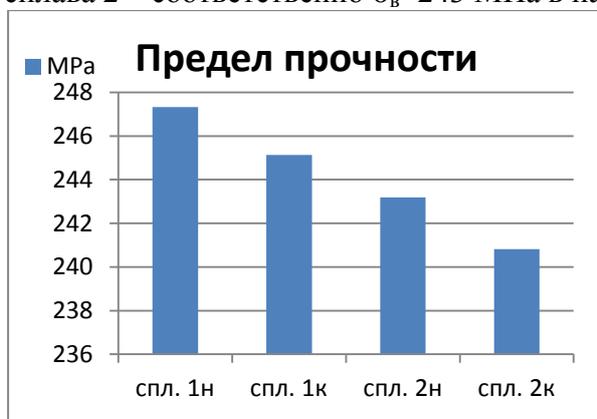


Рис.2 Предел прочности при испытании на растяжение сплавов 1 и 2 (н – начало слитка, к – конец слитка)

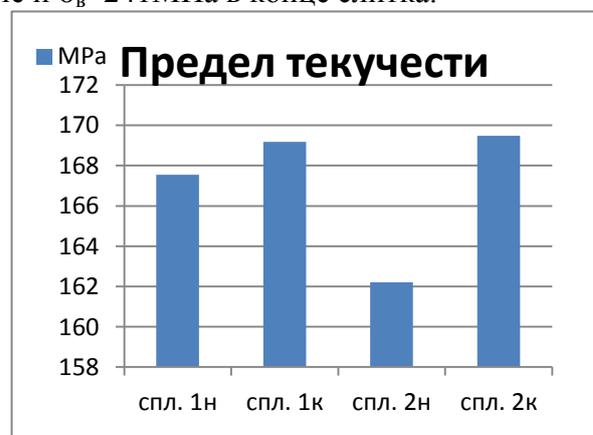


Рис.3 Предел текучести сплава 1 и 2

Предел текучести в сплаве 1 в начале и конце слитка практически не отличается  $\sigma_T=167$  и  $169$  МПа соответственно.

В сплаве 2 в начальной части слитка предел текучести  $\sigma_T=162$  МПа, а в конце слитка  $\sigma_T=169$  МПа.

Упругие свойства сплава 1 связаны, очевидно, с добавкой кремния, который обладает ковалентной связью, что и повышает предел текучести по сравнению со сплавом 2.

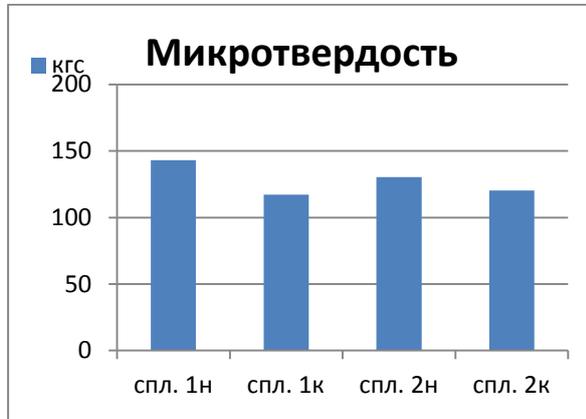


Рис.4 Микротвердость сплава 1 и 2

Рис. 5. Удлинение при разрушении сплавов 1 и 2 (н – начало слитка, к – конец слитка)

Микротвердость сплавов 1 и 2 практически одинаковая в начале и конце слитков. Это объяснимо тем, что структурный и фазовый состав сплавов практически одинаков, а микродобавки кремния влияют только на формирование структуры (модифицирование).

Пластические характеристики сплавов очень высоки (рисунок 5), что также связано со структурой однородного твердого раствора. В начале и конце слитков удлинение несколько разное и составляет соответственно в сплаве 1  $\delta=53$  и  $41$  %, в сплаве 2  $\delta=47$  и  $44$  %. Таким образом, микродобавки кремния одновременно повышают и прочностные и пластические характеристики.

Анализ рисунков 2-5 показывает большое различие в механических характеристиках начала и конца литого прутка. Начало прутка характеризуется большими значениями прочностных характеристик по сравнению с концом, как для сплава №1, так и для сплава №2.

Данный факт объясняется следующим. При установке задатчика температуры фильеры машины непрерывного литья на  $570$  °С, в стартовый период литья температура фильеры составляет  $520$  °С и выходит на рабочий режим ( $570$  °С) после отливки примерно  $1000$  мм прутка. Иначе говоря, начало прутка кристаллизуется в более жестких условиях, т.е. подвергается закалке. В связи с этим с этим рекомендуется при передаче литого прутка на участок прокатки-волочения, начало прутка примерно  $1000$  мм отрезать.

Сортовая прокатка и волочение проводились по технологической схеме принятой для ГОСТированной пробы серебра 925 пробы. Однако, технологический отжиг проволоки перед сцепыванием потребовал корректировки. Рекомендуемый режим отжига следующий: температура в печи  $700$  °С, скорость протяжки  $150$  мм/мин. Сцепывание для обоих сплавов прошло удовлетворительно.

Электроннограмма, полученная на растровом электронном микроскопе показала, что распределения кремния, в структуре сплава №1, неравномерное, т.е. имеются места, где его скопления содержат до  $7$  %. Данный факт объясняет наличие непропая

отдельных звеньев полученной цепи из этого сплава, т.к. высокая концентрация кремния снижает диффузию припоя в объем звена цепи. В целом сплав содержащий кремний имеет более красивый белый цвет и несколько более высокие механические характеристики.

Сплав №2 пропаялся удовлетворительно, что потребовало корректировки температурно-скоростных режимов пайки. Скорректированный температурно-скоростной режим имеет следующие параметры: температура в печи 870 °С, скорость движения конвейера 235 мм/мин. По рекомендованному режиму цепь из сплава №2 успешно прошла сколотку и алмазное гранение. Данный сплав рекомендован к промышленному освоению.

---

\*Работа выполнена в рамках хозяйственного договора по заказу ОАО «Красцветмет»