

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ AL-CU-MG-ZN-MN-FE-SI С БОЛЬШИМ КОЛИЧЕСТВОМ ЭВТЕКТИКИ

Поздняков А. В.

проф., д.т.н. Золоторевский В.С.

к.т.н., асс. Хван А.В.

ФГОУ ВПО «НИТУ «МИСиС», г. Москва

pozdniakov_av@inbox.ru

Целью работы является поиск перспективных систем легирования для получения высокопрочных и технологичных литейных сплавов с большим количеством эвтектики.

Объектом исследования в настоящей работе была выбрана система Al-Cu-Mg-Zn-Mn-Fe-Si. Медь, магний и цинк были выбраны для создания известной термически упрочняемой матрицы – алюминиевого твердого раствора (Al). Железо и кремний было решено исследовать в качестве эвтектикообразующих легирующих элементов, способных в принципе улучшить литейные свойства чисто матричных сплавов за счет сужения интервала кристаллизации.[1] Марганец планируется использоваться и как дополнительный упрочнитель матрицы, и как эвтектикообразующий элемент.

Выбор сплавов для исследования осуществлялся по термодинамическим расчетам с использованием программы Thermo-Calc. Был изучен фазовый состав композиций с различными сочетаниями концентраций легирующих элементов Al-(4-6)%Cu-(7-8%)(Zn+Mg)-2,5%(Mn+Fe)-(1-3)%Si. Выбор композиций для исследований определялся следующими условиями: 1-максимально возможное количество эвтектики; 2-максимальная легированность (Al) Cu, Mg и Zn. Максимальный переход в твердый раствор этих добавок обусловлен растворением избыточных фаз, образующихся при кристаллизации. В рассмотренных композициях возможно выделение первичных кристаллов фаз $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$, Al_3Fe , Al_7Cu_2Fe , при этом благоприятной морфологией обладает только фаза $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$. Максимальное упрочнение при старении достигается при выделении метастабильных фаз, состав которых близок к составу стабильных фаз Al_2Cu , $Al_5Cu_2Mg_8Si_6$, Mg_2Si и $MgZn_2$.

Наиболее перспективными по результатам термодинамических расчетов оказались сплавы, представленные в таблице 1.

В таблицах 2, 3 представлены расчеты фазового состава этих сплавов и состава (Al) при температурах закалки. Расчеты были подтверждены микроструктурными исследованиями в световом и электронном сканирующем микроскопах.

Таблица 1 – Расчетные температуры ликвидуса, равновесного и неравновесного солидуса перспективных сплавов (состав приведен в массовых процентах) (расчет в программе Thermo-Calc)

№	Состав сплава	T _{лик} , °C	T _{сол равн} , °C	T _{сол неравн} , °C
1	Al-5Cu-3,5Zn-1,2Mg-1,8Fe-0,6Mn-1,8Si	661	513	430
2	Al-4Cu-2Mn-1,8Fe-1,8Si	690	543	525
3	Al-5Cu-0,8Mg-1,8Fe-1Mn-1,8Si	673	515	503
4	Al-4,8Cu-3Zn-1,2Mg-2,5Mn-2Fe-1,6Si	710	498	430
5	Al-4,6Cu-6,5Zn-1,5Mg-1,5Mn-1Fe-1,3Si	670	492	325

Таблица 2 - Фазовый состав сплавов при температуре закалки (расчет в программе Thermo-Calc)

№ сплава по табл.1	T _{зак} , °C	Массовая доля фазы Q _M , %					
		(Al)	α ¹⁾	Al ₇ Cu ₂ Fe	Mg ₂ Si	Q ¹⁾	θ ¹⁾
1	495	86,7	6,4	4,2	-	2,7	-
2	540	86,4	13,7	-	-	-	-
3	500	87,1	8,8	2,6	-	1,4	-
4	490	82,5	15,6	-	0,6	-	1,3
5	485	90,3	8,6	-	1,1	-	-

1) α - Al₁₅(FeMn)₃Si₂, θ - Al₂Cu, Q - Al₅Cu₂Mg₈Si₆

Таблица 3 - Состав алюминиевого твердого раствора при температуре закалки (расчет в программе Thermo-Calc)

№ сплава по табл.1	T _{зак} , °C	Концентрация, % по массе				
		Cu	Zn	Mg	Mn	Si
1	495	3,3	4	0,4	-	0,6
2	540	4,2	-	-	0,05	0,8
3	500	4	-	0,4	-	0,8
4	490	4,7	3,6	1	0,04	0,2
5	485	5	7,2	0,9	-	0,2

Температура нагрева под закалку определялась по расчетам на 5-15 °C ниже неравновесного солидуса. Для всех пяти сплавов использовали одинаковые режимы старения: 180°C, 6 ч – старение на максимальную прочность (Т6) и 250°C, 6 ч – перестаривание (Т7).

Для определения оптимальных композиций был проведен сравнительный анализ механических свойств (по результатам испытаний на твердость и изгиб) и микроструктуры. Была также определена горячеломкость по карандашной пробе [2] для наиболее перспективных композиций. Результаты экспериментов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Экспериментальные данные

№ сплава по табл. 1	Режим ТО	НВ	Изгиб		
			$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_{B} , МПа	Стрела прогиба, мм
1	литой	98	-	-	-
	закалка (420°C, 3ч.+495°C, 4ч.)	136	376	491	1,7
	T6	165	-	519	0,1
	T7	114	432	451	0,7
2	литой	81	-	-	-
	закалка 540°C, 6ч.	95	-	-	-
	T6	106	267	434	5,5
	T7	92	263	395	4,8
3	литой	125	-	-	-
	закалка 500°C, 6ч.	117	-	-	-
	T6	134	-	353	1,5
	T7	101	-	279	1,6
4	литой	115	-	-	-
	закалка 490°C, 6ч.	116	-	-	-
	T6	155	-	415	0,02
	T7	103	320	409	1,8
5	литой	119	-	-	-
	закалка (320°C, 3ч.+485°C, 4ч.)	119	-	-	-
	T6	150	-	501	0,14
	T7	103	315	419	2,12

Из таблицы 4 видно, что твердость и прочностные характеристики исследованных сплавов гораздо выше, чем у всех стандартных литейных алюминиевых сплавов [1,3]. Наибольшей твердостью и прочностью при изгибе в состояниях T6 и T7 обладают сплавы 1 и 5, при этом у сплава 1 ниже пластичность. Сплав 3 обладает низким пределом прочности, но при этом хорошей пластичностью. У сплава 2 достаточно высокая прочность и пластичность, но при этом низкая твердость, что требует дополнительного его легирования для повышения твердости.

Во всех пяти сплавах в эвтектической составляющей присутствует фаза $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$, которая не фрагментируется при температурах закалки, оставаясь в разветвленной форме, что снижает пластичность сплавов.

Горячеломкость, как один из важнейших показателей литейных свойств, у исследованных сплавов высока. При этом в сплавах 1 и 2 горячеломкость несколько меньше, чем в сплавах 4 и 5, и составляет 14 мм против 16 мм по карандашной пробе.

Выводы

1. Установлена возможность получения сплавов системы Al-Cu-Mg-Zn-Mn-Fe-Si с твердостью и прочностью, значительно превышающей эти свойства у стандартных литейных алюминиевых сплавов.
2. Горячеломкость исследованных сплавов невысока, что требует поиска других эвтектикообразующих элементов.

Литература

1. Золоторевский В.С., Белов Н.А. Металловедение литейных алюминиевых сплавов. М.: «МИСиС» 2005
2. Новиков И.И. Горячеломкость цветных металлов и сплавов, М.: Издательство «Наука», 1966
3. ГОСТ 1583-93