УДК 669.715.018:621.745

ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДНОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СПЛАВА ТИПА АК7Ч

В.З. Куцова, Т.А. Аюпова

Национальная металлургическая академия Украины

Важнейшей технологической операцией получения качественных силуминов и отливок из них является внепечная обработка расплава, в том числе с помощью различных физических методов.

В настоящей работе изучали влияние водородной обработки расплава на структуру и свойства сплава типа АК7ч, комплексно модифицированного стронцием и скандием [1–2].

Промышленный сплав типа АК7ч выплавляли в индукционной печи в алундовом тигле объемом 5 кг. Стронций и скандий вводили в виде лигатур Al–5% Sr и Al–2% Sc при температуре 750^{0}С. Сплав подвергали дегазации и рафинированию.

Химический состав исследуемого сплава представлен в таблице 1.

Таблица 1

Средний химический состав опытных плавок сплавов типа АК7ч

№ п/п	Марка сплава	Химические элементы, % масс.						
		Si	Fe	Mn	Mg	Sr	Sc	Al
1	АК7ч	7.0	0.3	0.2	0.3	-	-	основа
2	АК7ч	7.0	0.3	0.2	0.3	0.1	0.5	основа

Микроструктуру сплавов изучали с помощью металлографического микроскопа типа «NEOPHOT-21» и «Axiovert-200MAT». Для выявления общей микроструктуры образцы подвергали травлению 0,5% водным раствором плавиковой кислоты на протяжении 10–15 секунд с последующей промывкой в струе проточной воды.

Водородную обработку расплавов проводили по методике ФТИМС НАНУ [3], разработанной под руководством член-корреспондента НАНУ Г.П. Борисова.

Количественные параметры структуры сплавов изучали методами стереометрической металлографии. Микротвердость фаз и структурных составляющих измеряли с помощью прибора ПМТ-3. Твердость измеряли твердомером ТШ-2М по методу Бринеля. Механические свойства (σ_B, σ_T, δ) измеряли на универсальной испытательной машине «Instron» при нагрузке 2 т.

Параметры режимов водородной обработки расплава исходного сплава АК7ч приведены в таблице 2, а сплава АК7ч, комплексно модифицированного Sr и Sc, – в таблице 3. Микроструктура немодифицированного сплава типа АК7ч в зависимости от условий охлаждения и времени наводораживания приведена на рисунке 1, а сплава АК7ч, модифицированного Sr и Sc, – на рисунках 2, 3.

Таблица 2

Параметры режимов водородной обработки сплава АК7ч

Обработка	Тпечи ^{0}С	Тзаливки разрывных образцов, ^{0}С	Т заливки металлографических образцов, ^{0}С		
			h=2 мм, $T_ф$=250^{0}С	h=2 мм, $T_ф$=25^{0}С	h=10 мм, $T_ф$=25^{0}С
Исходный		740	760	760	760
	770				
№ образца		1	1	2	3
Наводора-		740	752	752	752
живание	766				
№ образца		2	4	5	6
20 мин		745	-	-	-
№ образца	768	3			
40 мин		737	-	-	-
№ образца	770	4			
60 мин		740	-	-	-
	767				
№ образца		5			
90 мин			760	760	760
№ образца	766	6	7	8	9

Таблица 3

Параметры режимов водородной обработки сплава АК7ч, комплексно модифицированного Sr и Sc

Обработка	Тпечи ^{0}C	Тзаливки разрывных образцов, ^{0}C	Т заливки металлографических образцов, ^{0}C		
			h=2 мм, $T_ф$=250^{0}C	h=4 мм, $T_ф$=25^{0}C	h=10 мм, $T_ф$=25^{0}C
Исходный		752	758	750	750
№ образца	756	7	10	11	12
Наводора-живание	752	750	752	752	752
№ образца		8	13	14	15
20 мин		745	750	750	750
№ образца	750	9	16	17	18
					19 (вода)
40 мин		747	-	-	-
№ образца	750	10			
60 мин		740	-	-	-
№ образца	750	11	20	21	22
					23 (вода)

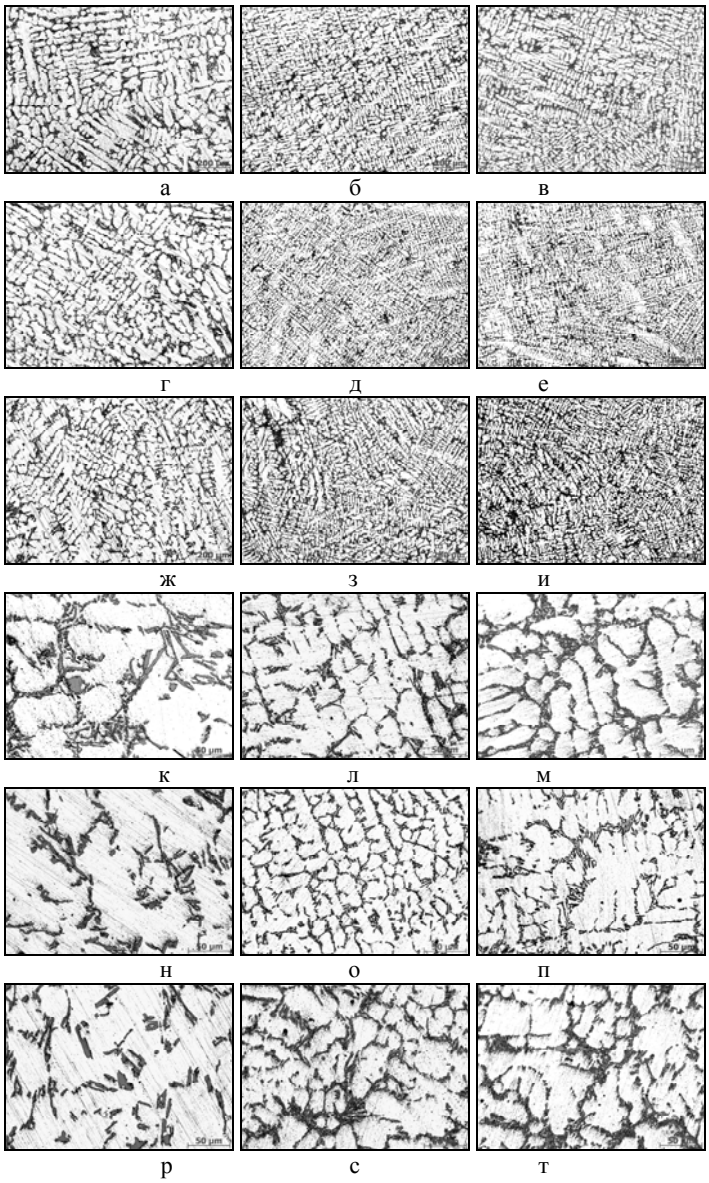


Рис. 1. Микроструктура немодифицированного сплава АК7ч после водородной обработки в соответствии с режимами (табл.1): а – № 1, б – № 2, в – № 3, г – № 4, д – № 5, е – № 6, ж – № 7, з – № 8, и – № 9, х100; к – № 1, л – № 2, м – № 3, н – № 4, о – № 5, п – № 6, р – № 7, с – № 8, т – № 9, х500.

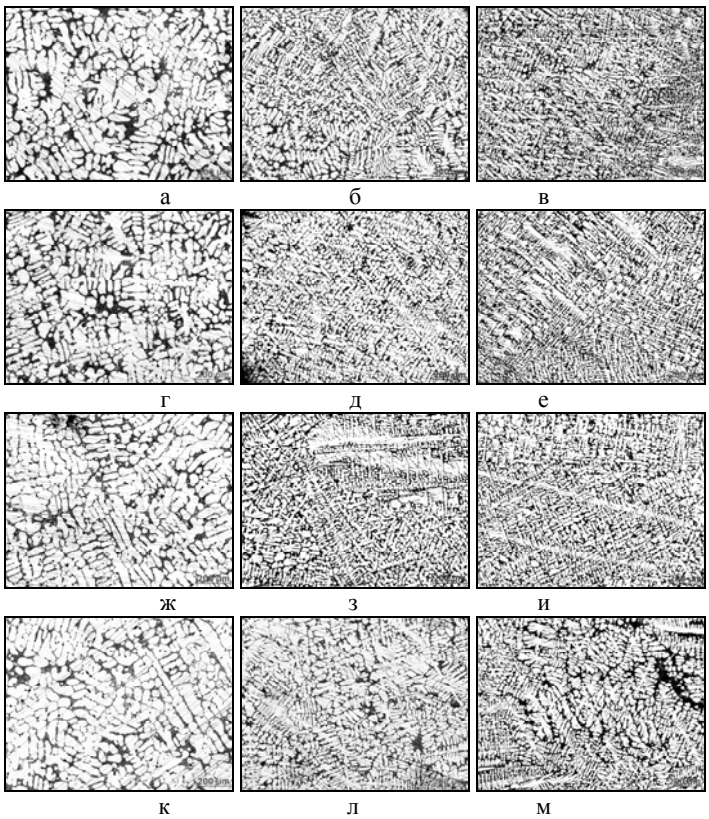


Рис. 2. Микроструктура сплава типа АК7ч, комплексно модифицированного Sr и Sc после водородной обработки в соответствии с режимами (табл.2):
а – № 10, б – № 11, в – № 12, г – № 13, д – № 14, е – № 15, ж – № 16, з – № 17, и – № 18, к – № 20, л – № 21, м – № 22, х100.

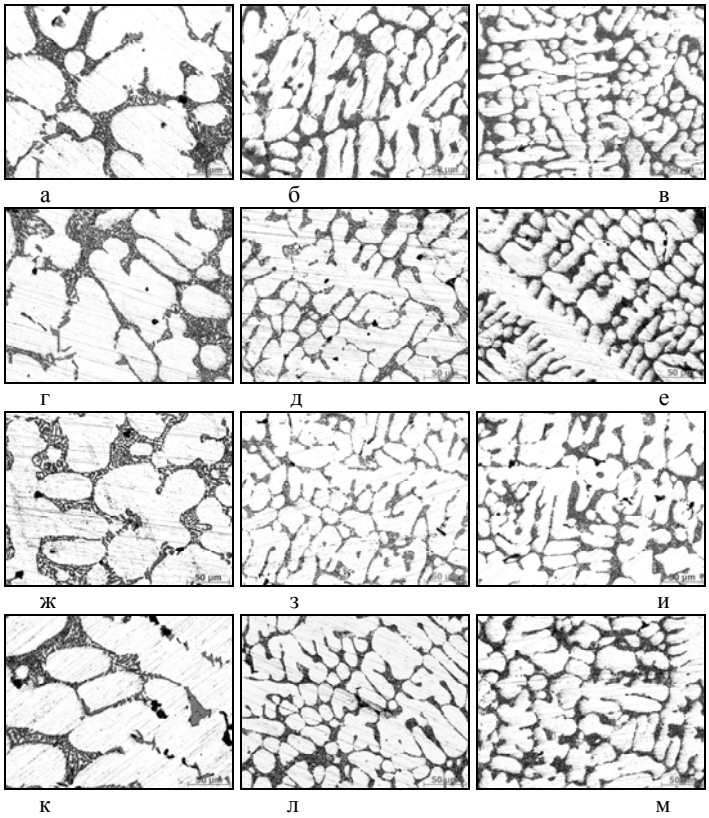


Рис. 3. Микроструктура сплава АК7ч, комплексно модифицированного Sr и Sc после водородной обработки в соответствии с режимами (табл. 2):
а – № 10, б – № 11, в – № 12, г – № 13, д – № 14, е – № 15, ж – № 16, з – № 17,
и – № 18, к – № 20, л – № 21, м – № 22, х500.

Анализ микроструктур, приведенных на рисунке 1, свидетельствует о том, что повышение скорости охлаждения образцов исходного сплава приводит к резкому утонению дендритних ветвей кристаллов α-Al, к увеличению степени разветвленности дендритов α-Al, уменьшению межпластинчатого расстояния в эвтектике α-Al+β-Si, или к увеличению степени дифференцировки эвтектики и изменению количественного соотношения α-Al – α-Al + β-Si – эвтектика в направлении увеличения количества первичных дендритов α-Al (рис. 1 а–в, к–м) и уменьшения количества эвтектики.

Водородная обработка расплава приводит к дополнительному измельчению структуры и изменению количественного соотношения структурных составляющих (рис. 1 г–и, н–п).

Влияние водородной обработки расплава на структуру модифицированного сплава АК7ч аналогично описанному выше. Увеличение времени водородной обработки особенно существенно влияет на количественное соотношение первичных кристаллов α-Al и эвтектики: количество α-Al кристаллов увеличивается, а количество эвтектики уменьшается (рис. 2, 3).

Количественные характеристики структуры (количество эвтектики *%E*, параметр формы кристаллов эвтектического кремния *A*, расстояние между кристаллами кремния в эвтектике *L*, степень разветвленности дендритов α-алюминиевого твердого раствора *R*) и механические свойства исходного сплава АК7ч (№ 1–9) и модифицированного стронцием та скандием (№ 10–23) в зависимости от режимов водородной обработки и скорости охлаждения приведены в таблице 4.

Анализ данных таблице 4 и рисунков 4–6 свидетельствует о том, что модифицирование сплава АК7ч оптимальным содержанием стронция и скандия увеличивает микротвердость эвтектики и α-Al твердого раствора более чем на 30%, наводораживание дополнительно увеличивает микротвердость структурных составляющих на 10–15%. Соответственно, твердость сплава также увеличивается при модифицировании на 10%, а при водородной обработке дополнительно увеличивается на 12–30%.

В таблице 5 приведены механические ссвойства исходного (1–6) сплава АК7ч и модифицированного стронцием та скандием (7–11) после водородной обработки. Анализ таблицы 5 позволяет сделать вывод, что наводораживание исходного сплава АК7ч приводит к увеличению $\sigma_{0,2}$ на 10%, $\sigma_в$ на 15–20%, δ на 30–50%. Водородная обработка модифицированного сплава АК7ч практически не влияет на предел текучести ($\sigma_{0,2}$), предел прочности ($\sigma_в$) незначительно увеличивается на 5%, а относительное удлинение (δ, %) на 25%. Зависимости относительного удлинения (рис. 7), предела текучести (рис. 8) и предела прочности (рис. 9) от времени наводораживания позволяют определить оптимальное время водородной обработки, которое составляет 20–40 мин.

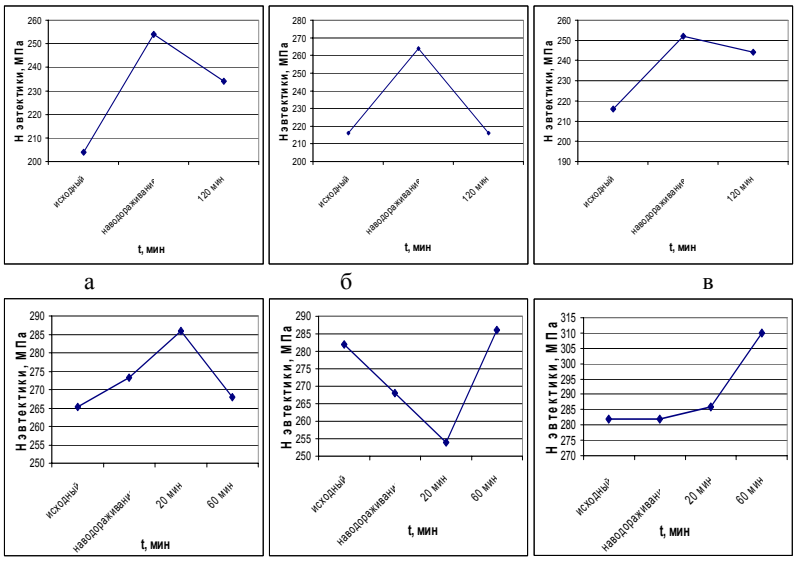


Рис. 4. Влияние наводораживания на микротвердость эвтектики сплава АК7ч: а, б, в – немодифицированного, г, д, е – комплексно модифицированного Sr и Sc;
а, г – при заливке в форму с толщиной стенки 2 мм, разогретую до 250^{0}С;
б, д – при заливке в холодную форму с толщиной стенки 4 мм;
в, е – при заливке в холодную форму с толщиной стенки 10 мм.

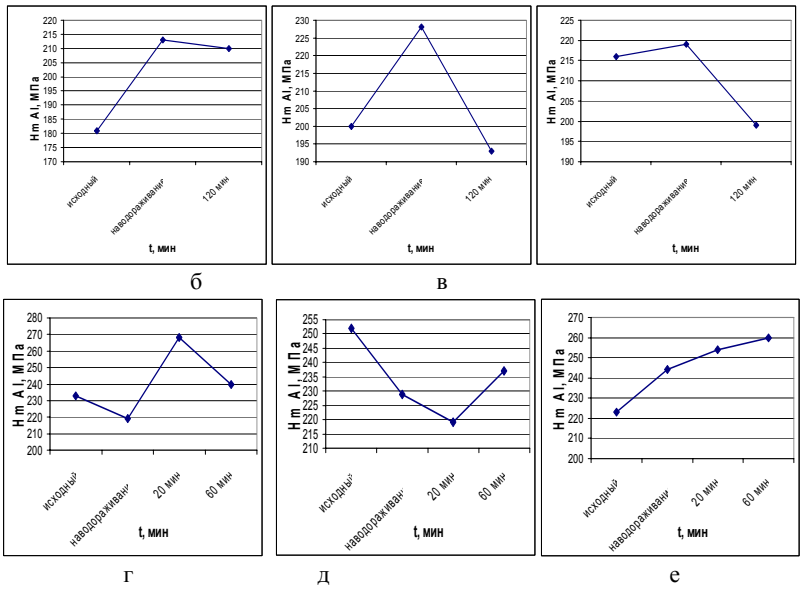


Рис. 5. Влияние наводораживания на микротвердость α-алюминиевого твердого раствора в сплаве АК7ч:
а, б, в – немодифицированного;
г, д, е – комплексно модифицированного Sr и Sc;
а, г – при заливке в форму с толщиной стенки 2 мм, разогретую до 250^{0}С; б, д – при заливке в холодную форму с толщиной стенки 4 мм;
в, е – при заливке в холодную форму с толщиной стенки 10 мм.

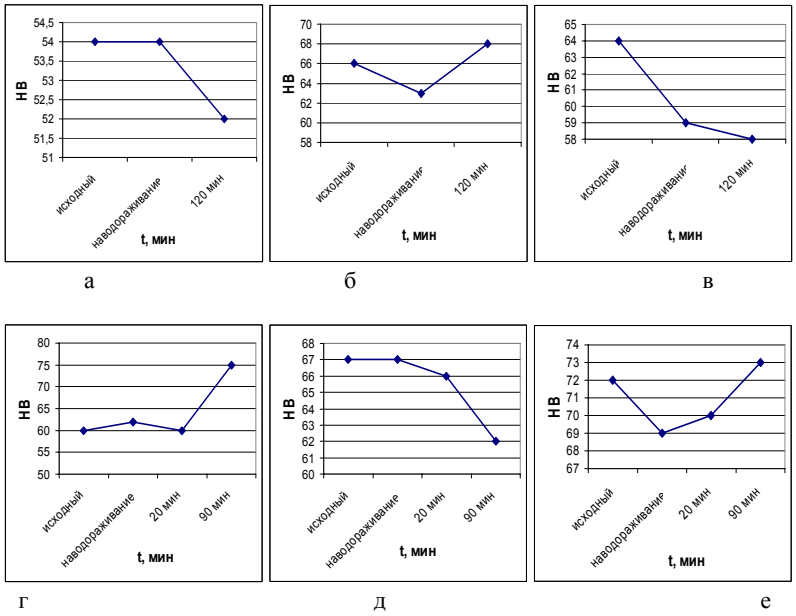


Рис. 6. Влияние наводораживания на твердость сплава АК7ч:
а, б, в – немодифицированного;
г, д, е – комплексно модифицированного Sr и Sc;
а, г – при заливке в форму с толщиной стенки 2 мм, разогретую до 250^{0}С;
б, д – при заливке в холодную форму с толщиной стенки 4 мм;
в, е – при заливке в холодную форму с толщиной стенки 10 мм.

Таблица 4

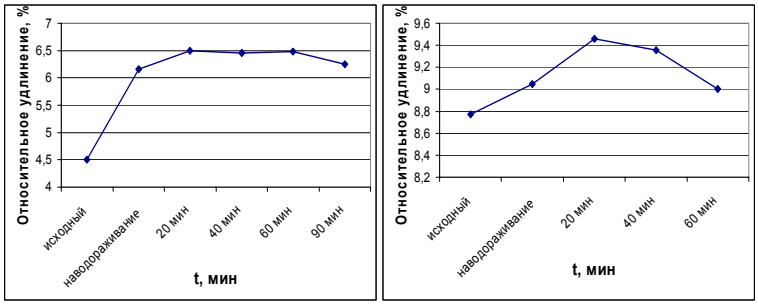
Количественные характеристики структуры и механических свойств сплава АК7ч в зависимости от модифицирования и режима водородной обработки

№ спл.	Режим обработки	Вид охлаждения	*E*, %	*A*	*L*, *мкм*	*R*, *мкм*	*Hμ*, *МПа*	*Hμα*, *МПа*	*HB*
1	Исходный	h=2 мм, $T_ф$=250^{0}C	25	3,53	3,10	34,7	204	181	54,3
2	Исходный	h=4 мм, $T_ф$=25^{0}C	27,3	3,98	3,01	20,1	216	200	65,6
3	Исходный	h=10 мм, $T_ф$=25^{0}C	30,4	3,19	2,1	20,0	264	216	63,9
4	Наводораживание	h=2 мм, $_ф$=250^{0}C	30,1	3,60	3,04	34,8	254	213	54,3
5	Наводораживание	h=4 мм, $T_ф$=25^{0}C	29,6	2,81	2,01	15,5	264	228	63,9
6	Наводораживание	h=10 мм, $T_ф$=25^{0}C	29,8	3,52	2,70	17,9	252	219	59,5
7	90 мин	h=2 мм, $T_ф$=250^{0}C	27,0	4,46	3,11	34,7	234	210	51,9
8	90 мин	h=4 мм, $T_ф$=25^{0}C	33,1	4,27	2,25	21	216	193	67,1
9	90 мин	h=10 мм, $T_ф$=25^{0}C	30,9	3,72	2,05	17,9	244	199	58,1
10	Исходный	h=2 мм, $T_ф$=250^{0}C	27,0	1,98	1,54	32,9	277	233	59,5
11	Исходный	h=4 мм, $T_ф$=25^{0}C	32,5	Не		14,4	282	252	67,1
12	Исходный	h=10 мм, $T_ф$=25^{0}C	33,1	разрешается		13,1	282	223	72,4
13	Наводораживание	h=2 мм, $T_ф$=250^{0}C	29,6	1,96	1,62	28,3	252	219	62,4
14	Наводораживание	h=4 мм, $T_ф$=25^{0}C	32,0	1,64	1,84	21,0	268	229	67,1
15	Наводораживание	h=10 мм, $T_ф$=25^{0}C	35,1	Не разрешается		13,8	282	244	68,8
16	20 мин	h=2 мм, $T_ф$=250^{0}C	26,15	2,10	2,11	33,7	286	268	59,5
17	20 мин	h=4 мм, $T_ф$=25^{0}C	29,7	1,60	1,23	16,86	254	219	65,5
18	20 мин	h=10 мм, $T_ф$=25^{0}C	30,2	Не		18,4	286	254	70,6
19	вода	h=10 мм, $T_ф$=25^{0}C	53,0	разрешается		10,3	301		76,3
20	60 мин	h=2 мм, $T_ф$=250^{0}C	25,5	2,46	1,96	34,2	268	240	62,4
21	60 мин	h=4 мм, $T_ф$=25^{0}C	27,5	Не		19,3	286	237	72,4
22	60 мин	h=10 мм, $T_ф$=25^{0}C	35	разрешается		16,3	310	260	74,3
23	вода	h=10 мм, $T_ф$=25^{0}C	33,4			22,2	306	237	76,3

Таблица 5

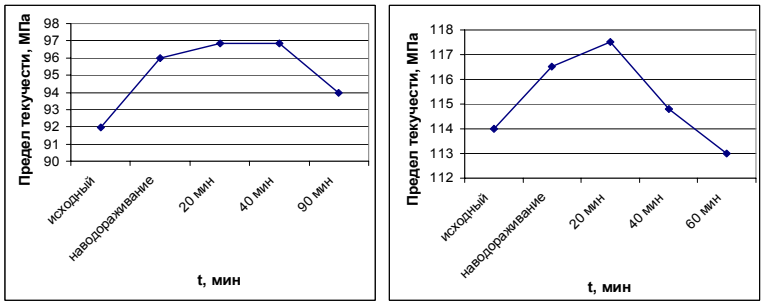
Механические свойства сплава типа АК7ч при испытании на растяжение в зависимости от модифицирования и режима водородной обработки

№ режима	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
σ_{02}, МПа	90	96	100	93	99	94	114	115	121	108	115
σ_B, МПа	153	170	180	172	178	165	185	182	184	188	190
δ, %	4,5	6,3	6,5	5,75	7,0	6,3	8,8	8,5	9,8	9,5	10,0



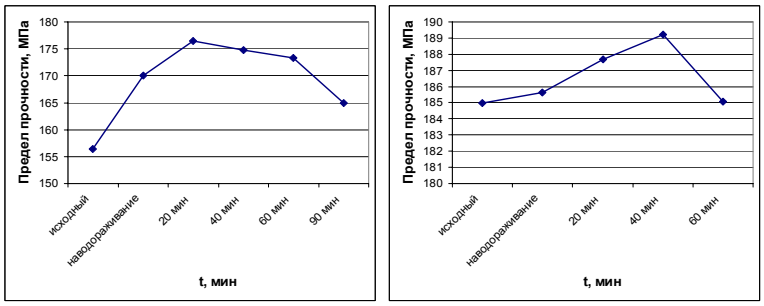
а б

Рис. 7. Влияние наводораживания на относительное удлинение сплава АК7ч: а – немодифицированного, б – комплексно модифицированного Sr и Sc при испытании на растяжение.



а б

Рис. 8. Влияние наводораживания на предел текучести сплава АК7ч:
а – немодифицированного, б – комплексно модифицированного Sr и Sc при испытании на растяжение.



а б

Рис. 9. Влияние наводораживания на предел прочности сплава АК7ч:
а – немодифицированного, б – комплексно модифицированного Sr и Sc при испытании на растяжение.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Водородная обработка сплава типа АК7ч – исходного и модифицированного комплексом стронций – скандий в оптимальной концентрации приводит к увеличению степени разветвленности дендритов α-алюминиевого твердого раствора, увеличению дифференцировки евтектики.

Водородная обработка немодифицированного сплава АК7ч приводит к увеличению $\sigma_{0,2}$ на 10%, $\sigma_в$ на 15–20%, δ на 30–50%. Водородная обработка модифицированного комплексом стронций – скандий сплава АК7ч практически не влияет на предел текучести ($\sigma_{0,2}$), предел прочности ($\sigma_в$) незначительно повышает на 5%, а относительное удлинение (δ, %) на 25% при повышенных скоростях охлаждения. Оптимальное время водородной обработки составляет 20–40 мин.

Литература

1. Куцова В.З., Аюпова Т.А. Влияние микролегирования Sr и Sc на структуру сплава АК7ч / Строительство, материаловедение, машиностроение // Сб. научн. тр. – Вып. 36, ч.1. – Днепропетровск, ПГАСА. – 2006. – С. 201–209.

2. Куцова В.З., Аюпова Т.А., Амбражей М.Ю. Влияние микролегирования Sr и Sc на фазовый состав и свойства АК7ч / Строительство, материаловедение, машиностроение // Сб. научн. тр. – Вып. 41, ч.1. – Днепропетровск, ПГАСА. – 2007. – С. 18–30.

3. Борисов Г.П., Костюк А.И., Семенченко А.И., Стась Т.В. Исследование эффективности гидроциркуляционной обработки Al–Si расплавов/ Производство стали в XXI веке, прогноз, процессы, технология, экология. Киев – Днепродзержинск. – 2000.