

Можно предположить, что в пределе при каких-то экстремальных скоростях охлаждения температурный и концентрационный интервалы сузятся до слияния линий неравновесного ликвидуса и солидуса в одну метастабильную линию  $T_A T_0$ , соответствующую равенству термодинамических потенциалов жидкого и твердого растворов. При переохлаждении расплава ниже этой линии термодинамический потенциал жидкой фазы окажется выше, чем твердой фазы того же состава, кристаллизация произойдет бездиффузионно. Возможность бездиффузионной кристаллизации была теоретически описана в [7], экспериментально доказана в [2, 8] и др.

Очевидно, в реальных условиях быстрой кристаллизации скорость охлаждения находится в пределах, обеспечивающих концентрацию легирующего элемента в  $\alpha$ -твердом растворе от минимальной (при торможении диффузии только в твердой фазе) до максимальной, соответствующей исходному составу сплава при полном подавлении диффузии в жидкой фазе и разделительной на фронте кристаллизации. Превращение осуществляется по двум механизмам — диффузионному и бездиффузионному. В зависимости от преобладания того или иного процесса в каждой конкретной системе возникают свои структурные особенности — сверхпересыщенные твердые растворы, образование промежуточных и аморфных фаз и другие, не присущие равновесным состояниям сплавов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Д о б а т к и н В.И. О метастабильных равновесиях при кристаллизации сплавов // Изв. АН СССР. Металлы. — 1982. — № 6.
2. М и р о ш н и ч е н к о И.С. Закалка из жидкого состояния. — М., 1982. — 268 с.
3. Б о ч в а р А.А. Металловедение. — М., 1956. — 356 с.
4. Б о ч в а р А.А., Ж а д а е в а О.С. Исследование структурных составляющих литых алюминиево-медных и алюминиево-кремниевых сплавов методом микротвердости // Изв. АН СССР. — 1945. — № 10, 11.
5. Н о в и к о в И.И., З о л о т а р е в с к и й В.С. Дендритная ликвация в сплавах. — М., 1966. — 155 с.
6. П а р х у т и к П.А., К у п р и я н о в а И.Ю. Влияние неравновесных условий кристаллизации на структурные особенности литых сплавов двухкомпонентных систем // Изв. АН БССР. Сер. физ.-техн. наук. — 1983. — № 2.
7. А п т е к а р ь И.Л., К а м е н е ц к а я Д.С. О бездиффузионных превращениях в сплавах // Проблемы металловедения и физики металлов. — М., 1964. — С. 205—221.
8. С а л л и И.В. Кристаллизация при сверхбольших скоростях охлаждения. — Киев, 1972. — 136 с.

УДК 621.74.043:669.715

А.А. АНДРУШЕВИЧ, канд.техн.наук,  
И.Н. БУЛЫГА (НИИЛИТАвтопром),

П.А. ПАРХУТИК, канд.техн.наук (ФТИ АН БССР)

### ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ СИЛУМИНА АЛ4 ПОД ВЛИЯНИЕМ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ СТРОНЦИЕМ

Традиционные модификаторы литейных алюминиевых сплавов — металлический натрий и его соединения — имеют существенный недостаток — непродолжительное время сохранения эффекта модифицирования (0,5...0,8 ч), что в условиях массового и серийного производства литья из раздаточных печей

больших объемов вызывает значительные технические неудобства. Это требует разработки модификатора, действие которого сохраняется длительное время и после многократных переливов и переплавов.

По зарубежным и отечественным данным, наиболее перспективным модификатором продолжительного действия оказался стронций и его соединения [1–3]. В то же время до сих пор отсутствует достоверная информация о влиянии стронция на качество алюминиевого литья, определяемого комплексом механических и технологических свойств.

В работе приведены результаты лабораторных и промышленных исследований, проведенных НИИЛИТавтопромом, по модифицированию стронцием типичного силумина – сплава АЛ4.

Сплав АЛ4 (ГОСТ 2685–75) с химическим составом (в процентах по массе): Al – основа, Si – 8...10,5, Mn – 0,18...0,5, Mg – 0,17...0,3, Cu – 0,1...0,4 подвергался модифицирующей обработке из расчета содержания 0,005...0,02 % стронция в готовом сплаве. Для этого использовался металлический стронций, его соли и алюминиевостронциевые лигатуры.

Наиболее удобными в технологическом отношении являются стронций-содержащие лигатуры, так как облегчается процесс их ввода в металл, высок процент усвоения. Из лигатур Al – 54 % Sr, Al – 30 % Sr и Al – 10 % Sr самая технологичная – лигатура с содержанием стронция до 10 %. Она вводилась в жидкий металл при 750...780 °С с дозагрузкой твердой шихтой в начале плавки в индукционные тигельные печи вместимостью 50...2500 кг. Контроль за эффектом модифицирования сплава осуществляли с помощью следующих методов.

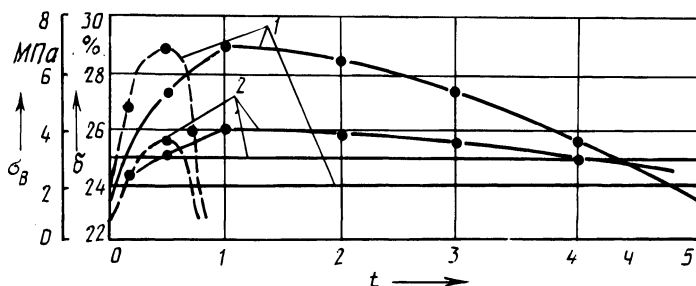


Рис. 1. Влияние времени выдержки сплава АЛ4:  
1 – на прочность  $\sigma_B$ ; 2 – на относительное удлинение  $\delta$ ; — — — сплав, модифицированный стронцием; - - - - то же, универсальным флюсом

Определяли механические свойства ( $\sigma_B$ ,  $\delta$ , НВ), химический состав, макро- и микроструктуру сплава. Исследования механических свойств показали, что у сплава, обработанного стронцием, по сравнению с модифицированным универсальным флюсом (состава  $\text{NaCl} + \text{NaF} + \text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) предел прочности возрос на 20...30 % и составил 280...300 МПа, пластичность повысилась в 1,2...1,5 раза. Повышенный уровень свойств остается стабильным в течение 3...4-часовой выдержки расплава в раздаточной печи (рис. 1). После 5 ч выстаивания сплава наблюдается их постепенное снижение. При выстаивании распла-

ва после обработки лигатурой в течение 1...6 ч структурные составляющие сильно измельчаются: размеры дендритных ячеек  $\alpha$ -раствора составляют 50...140 мкм, диспергированная эвтектика состоит в основном из округлых компактных включений кремния размером 5...15 мкм. Дисперсность эвтектики у сплава, модифицированного стронцием, существенно выше, чем с применением универсального флюса. Изломы клиновых технологических проб — светло-серого цвета, мелкокристаллические, без металлического блеска.

Жидкотекучесть сплава определялась по спиральной пробе (ГОСТ 16438—70) при температуре 720...730 °С, а усадка — с помощью конусной технологической пробы по способу Татюра [4]. Сплав с добавками стронция сохраняет высокую жидкотекучесть, на 15...20 % выше, чем у расплава, обработанного универсальным флюсом (табл. 1). По результатам плавки среднее значение жидкотекучести составляет 887,5 мм. Пористость сплава соответствует 1...2 баллам по шкале ВИАМ, однако плотность металла несколько снижается.

Модифицирование сплава стронцием приводит к уменьшению его объемной усадки, существенному (почти в два раза) уменьшению размеров концентрированной усадочной раковины, наружная же усадка практически не изменяется. В то же время микроусадочная пористость модифицированных стронцием сплавов остается высокой, в некоторых случаях превышающей значения для немодифицированных сплавов, особенно с повышенным содержанием железа. Это, видимо, объясняется изменением механизма кристаллизации расплава при обработке стронцием.

Результаты исследований показали, что модифицирование сплава АЛ4 стронцием обеспечивает высокий уровень его механических и технологических

Табл. 1. Литейные свойства сплава АЛ4 в зависимости от вида модифицирующей обработки

Показатель	Исходное состояние сплава	Обработка расплава	
		универсальным флюсом (0,9 %)	алюминиево-стронциевой лигатурой (0,015...0,01 %)
Микроструктура	Немодифицированная	Модифицированная	Модифицированная
Усадочная раковина, %	1,4	1,12	0,58
Наружная усадка, %	4,8	4,4	4,64
Микроусадка, %	0,21	0,56	0,72
Суммарная объемная усадка, %	6,41	6,18	5,93
Балл пористости по шкале ВИАМ	1...2	1	1...2
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,684	2,673	2,667
Жидкотекучесть (по спиральной пробе)	720	800	887

ких свойств, который остается стабильным в течение длительного времени выстаивания, что полностью удовлетворяет требованиям при заливке алюминий-кремниевых сплавов в цеховых условиях. Для получения модифицирующего эффекта продолжительностью 4...5 ч содержание стронция в сплаве должно быть в пределах 0,01...0,03 %, 2...3 ч — 0,005...0,01 %. При концентрации стронция менее 0,005 % длительный эффект модифицирования не проявляется. Однако образующаяся при обработке сплава стронцийсодержащими лигатурами рассеянная микропористость позволяет применять сплав только для производства машиностроительных отливок, к которым не предъявляются повышенные требования по герметичности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Luis-Martin L., Ferriera-Rodriguez S. Modification permanent def allages Al—Si eutectiques et voisins de l'eutectique. Перманентное модифицирование сплавов алюминий—кремний эвтектических и близких к эвтектическим // Fonderie. — 1977. — N 372.
2. Hess P.D., Blackman E.V. Strontium as a modifying agent for hypoeutectic aluminum — silicon alloys. Модифицирование доэвтектических силуминов стронцием // Transactions. — 1975. — S. 87—90.
3. Модифицирование силуминов стронцием / И.Н. Ганиев, П.А. Пархутик, А.В. Ваховов, И.Ю. Куприянова. — Минск, 1985. — 141 с.
4. Алюминиевые сплавы / Под ред. И.Н. Фридляндера. — М., 1979. — 296 с.

УДК 621.785.539:661.65

С.А. ИСАКОВ, канд.техн.наук,  
Н.А. МЕШОЧКИН (ММИ)

### БОРИРОВАНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОБРАЗЦАХ ИЗ СТАЛИ

Одним из способов ремонта изношенных деталей машин является "твердое" электролитическое железнение [1], позволяющее повторно использовать значительное количество изношенных деталей. Однако высокие напряжения растяжения в износостойких твердых железных покрытиях отрицательно сказываются на сопротивлении усталости обрабатываемых деталей, сцепляемости покрытий с основой, приводят к образованию трещин в осадке [2, 3]. Широкие возможности для получения покрытий с качественно новыми физико-механическими и эксплуатационными свойствами открывает химико-термическая обработка гальванических железных осадков. Особый интерес представляет процесс борирования железных металлов и сплавов [4].

В работе приведены результаты исследования процесса борирования электролитического железа на образцах из стали 45. При выборе типа электролита, способов, а также режимов железнения прежде всего учитывалось качество покрытия (сплошность, сцепление с основой). Была исследована возможность получения осадков путем применения нестационарных режимов электролиза. В результате установлено, что наиболее полно указанным требованиям удовлетворяет процесс железнения в сульфатном электролите, разработанный Н.Т. Кудрявцевым и Л.А. Яковлевой [5], с использованием двухфазного однополупериодно выпрямленного тока с регулируемым по време-