

Дальнейшее расширение температурного интервала циклирования приводит к повышению деформации образцов без существенного изменения их механических свойств, что вызвано ростом термических напряжений, достигающих $\sigma_{\text{терм}} > \sigma_T$. Изменение остаточных напряжений происходит по третьему варианту, причем уровень их не меняется, происходит лишь смена их знака.

Уровень остаточных напряжений, помимо неоднородности пластических деформаций, зависит также от неоднородности структурного состояния сплава, которая наиболее заметно проявляется при изменении количества циклов обработки (рис. 3). Закономерность изменения деформации образцов в зависимости от количества циклов повторяется для всех температурных интервалов. Большая деформация образцов при малых количествах циклов объясняется неоднородностью структурного состояния сплава. Избыточные фазы располагаются в зернах α -твердого раствора неравномерно, преимущественно около границ зерен. С увеличением количества циклов повышается однородность структуры, при этом понижается деформация образцов. Повышение деформации с увеличением количества циклов объясняется необратимыми формоизменениями и термической усталостью сплава.

Проведенные исследования показали эффективность ВТЦО с целью уменьшения склонности к деформированию сплава ВАЛ10 при высоких значениях механических свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хенкин М.Л., Локшин И.Х. Размерная стабильность металлов и сплавов в точном машиностроении и приборостроении. — М., 1974. — 255 с. 2. Аристова Н.А., Колобнев И.Ф. Термическая обработка литейных алюминиевых сплавов. — М., 1977. — 143 с.

УДК 669.046.516:669.715

И.Ю.КУПРИЯНОВА, Е.В.САВИЦКАЯ

СВОЙСТВА ПРОМЫШЛЕННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ, ОБРАБОТАННЫХ МОДИФИКАТОРАМИ ДЛИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Для улучшения структуры и механических свойств промышленных сплавов на основе системы алюминий—кремний применяют различные технологические методы: регулируют режимы плавки и литья, меняют условия кристаллизации отливок. Ускоренное охлаждение, например при литье в металлические формы под давлением, дает возможность измельчить присутствующие в структуре грубые хрупкие включения кремния и интерметаллических фаз, что позволяет повысить прочность и, особенно, низкую пластичность, присущую литейным алюминиевым сплавам. Но наиболее действенным фактором, определяющим благоприятное структурообразование силуминов, остается модифицирование, т.е. измельчение структуры за счет введения в расплав перед его заливкой малых добавок модифицирующих элементов. Самым распространенным в настоящее время модификатором силуминов является металлический натрий и его соединения, надежно обеспечивающие измельче-

ние важнейшей структурной составляющей этих сплавов – алюминиево-кремниевой эвтектики. К недостаткам обработки расплава натрием относятся получение не полностью модифицированной или перемодифицированной структуры, снижение жидкотекучести расплава, повышенная склонность расплава к газопоглощению. Но главный из них – это ограниченное время выдержки расплава после ввода модификатора (обычно до 30 мин), что связано с испарением и окислением легкоплавкого натрия.

В связи с этим многими исследователями выполнен ряд работ по выявлению возможности замены натрия и его соединений другими модификаторами. В настоящее время наиболее надежными оказываются такие модификаторы, как стронций и сурьма. Подобно натрию, они вызывают измельчение алюминиево-кремниевой эвтектики и в то же время обеспечивают стабильный эффект модифицирования расплава, который сохраняется при длительном его выстаивании и многократном переплаве модифицированного сплава. Для введения стронция в расплав как в нашей стране, так и за рубежом разработан ряд составов [1, 2]. У сплавов, микролегированных добавками стронция, пластичность существенно повышается. Но широкое применение стронция как модификатора промышленных алюминиево-кремниевых сплавов пока сдерживается по ряду причин. Стронциевые лигатуры недостаточно технологичны в употреблении, плохо усваиваются расплавом, требуется точная дозировка состава во избежание образования в структуре сплавов избыточных стронциевых фаз, ухудшающих механические свойства отливок. Введение стронция затруднено из-за необходимости повышения температуры расплава, что приводит к увеличению его газопоглощаемости, при этом наблюдается повышенная пористость, являющаяся главным недостатком силуминов, обработанных стронцийсодержащими модификаторами, особенно при малых скоростях затвердевания отливок. Применение стронция пока ограничено также из-за довольно высокой стоимости этого металла и его соединений.

Как показали исследования, при введении в силумины добавок сурьмы обеспечивается измельчение иглообразных частиц эвтектического кремния, повышается плотность отливки, что существенно улучшает их пластичность и прочностные свойства, особенно при повышенных температурах [3]. Эти добавки не приводят к возникновению газовой пористости даже при литье с малыми скоростями затвердевания (массивные отливки в песчаные формы). Структура, а следовательно, и свойства отливок менее чувствительны к условиям охлаждения, что весьма важно для деталей сложной конфигурации.

Но в то же время добавки сурьмы могут вызвать укрупнение зерна α -твердого раствора при литье [4], что приводит к снижению пластичности и прочности сплавов. Это ограничивает применение для модифицирования силуминов известной лигатуры, выпускаемой фирмой Кавецки-Биллитон (Нидерланды) и содержащей 8 % сурьмы, остальное – алюминий. Для предотвращения подобных негативных явлений необходимо применять комплексные лигатуры, воздействующие на все структурные составляющие промышленных алюминиевых сплавов.

Для обработки расплавов-силуминов такими комплексными модификаторами перспективны лигатуры $Al-Sr-Ti-B$ и $Al-Sb-Zr-B$. Совместные воздействия модифицирующих добавок обеспечивают существенное повыше-

ние прочностных и пластических свойств сплавов за счет благоприятных условий структурообразования отливок. Положительное влияние сурьмы и стронция на формирование эвтектической составляющей усиливается введением циркония, бора и титана, сочетание которых способствует измельчению зерна α -твердого раствора и более равномерному распределению α -Si-эвтектики. Кроме того, их растворение в алюминии вызывает упрочнение твердого раствора. Добавки бора также благоприятствуют упрочнению структуры, укрепляют границы зерен, что обеспечивает повышение прочности сплава и стабильность механических свойств, особенно при повышенных температурах эксплуатации отливок.

Эффективность влияния модификаторов длительного действия на свойства силуминов изучали на примере широко применяемого в машиностроении литейного сплава АЛ4 (ГОСТ 26–85–75). Отливки из обработанного лигатурами сплава и отдельно отлитые в кокиль стандартные образцы подвергались термической обработке по режиму Т6: закалка в воду после нагрева (535 ± 5) °С и искусственное старение при (175 ± 5) °С в течение 8 ч. Механические свойства сплава (предел прочности, твердость, относительное удлинение) определяли по данным испытаний пяти образцов, отдельно отлитых в кокиль, а также вырезанных из отливок после обработки расплава лигатурой каждого состава. Заливку производили при 720 ± 10 °С через 1–3 ч после операции модифицирования.

Как следует из данных табл. 1, механические свойства сплава, модифицированного лигатурой Al–Sb–Zr–B, существенно выше, чем после обработки стронциевой лигатурой.

Если средние значения предела прочности и относительного удлинения сплава, обработанного стронцийсодержащими лигатурами, для кокильных образцов составляют $\sigma_B = 300$ МПа, $\delta = 3,6$ %, а для вырезанных из отливок – $\sigma_B = 230$ МПа и $\delta = 3$ %, то модифицирующая обработка комплексной лигатурой Al–Sb–Zr–B позволяет получить на кокильных образцах соответственно $\sigma_B = 354$ МПа, $\delta = 5,1$ %, а на вырезанных из отливок – $\sigma_B = 252$ МПа и $\delta = 3,4$ %. Твердость сплава мало зависит от состава лигатуры. При этом значения показателей прочности и пластичности сохраняются при длительном выстаивании расплава, превышающем 2 ч. Определенная спектральным анализом

Табл. 1. Сравнительные механические свойства сплава АЛ4, обработанного лигатурами разного состава

Лигатура	Отдельно отлитые образцы			Образцы, вырезанные из отливки		
	σ , МПа	σ , МПа	δ , %	σ , МПа	σ , МПа	δ , %
Al–Sb–B–Zr (5 %Sb)	350	910	5,4	245	90	3,4
Al–Sb–B–Zr (10 % Sb)	358	950	4,9	258	930	3,5
Al–Sb–Zr (10 % Sb)	345	920	5,2	252	920	3,6
Al–Sr–Ti–B	300	880	4,2	220	860	3,2
Al–Sr–Ti	320	900	3,8	230	890	3,0
Al–Sr–B	280	890	3,0	240	880	2,8

усваиваемость модификаторов составляет 85–95 % (по основному модификатору лигатуры).

Таким образом, применение модификаторов длительного действия в виде комплексных лигатур для обработки промышленных алюминиевых сплавов дает возможность существенно улучшить свойства отливок, обеспечивая при этом стабильность результатов крупносерийного и массового производства литья, после многократных переливов и переплавов силуминов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 1520673 (Великобритания). Сплав на основе алюминия. 2. А.с. 376472 (СССР). Модификатор для алюминий-кремниевых сплавов / И.Н.Золинова, В.В.Зуни-на, В.Н.Иванова и др. З у п р и я н о в а И.Ю., Пархутик П.А., Савицкая Е.В. Модифицирующее влияние добавок сурьмы на структуру и свойства силуминов // Металлургия. — Мн., 1988. — Вып. 22. — С. 25–27. 4. М о н д о л ь ф о Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов: Пер. с англ. — М., 1979. — 640 с.

УДК 621.74:669.715

П.А.ПАРХУТИК, И.Н.БУЛЫГА

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СТРОНЦИЙСОДЕРЖАЩИХ ЛИГАТУР НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИЛУМИНОВ

При получении качественного литья из алюминиевых сплавов большое внимание привлекает модифицирование силуминов стронцием, который характеризуется (по сравнению с традиционным модифицированием натрийсодержащими флюсами) продолжительностью действия на расплав и возможностью многократных переливов и переплавов [1]. Однако промышленное использование стронция как модификатора сдерживается главным образом из-за технических трудностей его ввода в расплав и высокой газопоглощаемости, что приводит к повышенной пористости отливок особенно при медленном их затвердевании (литье в песчаные формы). Практика показала, что для снижения пористости отливок и улучшения технологичности процесса литья силуминов стронций целесообразно вводить в виде комплексных лигатур на основе алюминия с различным содержанием модификатора.

Технологические (литейные) свойства и герметичность широко применяемого промышленного алюминиевого сплава АЛ4 (ГОСТ 2685–75) исследовались в зависимости от состава стронцийсодержащих лигатур для модифицирования силуминов. Были опробованы двойные алюминийстронциевые лигатуры с 30, 10 и 5 % стронция и тройная лигатура Al–32 % Sr–20 % Si производства Гиредмета.

Лигатуры, содержащие 10 и 5 % стронция, готовили на основе базовой Al–30 % Sr (ТУ 48-0516-8/0–83, Исфаринский гидрометаллургический завод). Переплав осуществляли в двух условиях — на воздухе в индукционной тигельной печи ИСТ-016 и в вакуумной печи ИСВ004 ПИМ1 с основной футеровкой. В шихте использовали технический алюминий АЛ7. Содержание стронция в разбавляемых лигатурах определяли химическим методом.

Модифицирующую обработку жидкого сплава АЛ4 лигатурой осуществ-