

## МОДИФИЦИРУЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК СУРЬМЫ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СИЛУМИНОВ

Модифицирование литейных алюминиево-кремниевых сплавов – важнейший резерв повышения их механических свойств. В производственной практике для получения качественного литья силуминов широко применяется обработка расплава натрием или его соединениями, которые обеспечивают благоприятную структуру отливок – тонкодифференцированную алюминиево-кремниевую эвтектику. Однако продолжительность модифицирующего действия натрия небольшая (не более 30...40 мин), что создает определенные трудности в крупносерийном и массовом производстве литья. В настоящее время предпринимаются попытки замены традиционного натрия модификаторами длительного действия. Перспективными в этом отношении считаются щелочно-земельные металлы, особенно стронций, модифицирующий эффект которого сохраняется длительное время, а также после многократных переливов и переплавов. Подобно натрию, стронций обеспечивает измельчение алюминиево-кремниевой эвтектики и удовлетворительные механические свойства силуминов. Но в то же время обработка расплава стронцием приводит к повышенной микропористости отливок, особенно при литье в песчаные формы, что ограничивает использование стронция в качестве модификатора для производства литья ответственного назначения.

По имеющимся литературным данным, положительное модифицирующее влияние на структуру силуминов оказывает сурьма. В данной работе изучена возможность и целесообразность использования добавок сурьмы в качестве модификатора длительного действия на структуру и механические свойства силуминов. Для исследования был выбран промышленный вторичный алюминиевый сплав АК5М7 (ГОСТ 2685–75). Плавку вели в электропечи сопротивления с использованием графитовых тиглей без применения защитных атмосфер. Сурьму вводили в расплав при 730...750 °С в виде лигатуры Al – 10 % Sb. Содержание сурьмы в сплаве изменяли в пределах 0,03...0,5 % (по массе). После выдержки расплава от 15 мин до 6 ч при температуре (720 ± 10) °С производили его разливку в песчаные и металлические формы (кокили) разного размера. Из отлитых заготовок вырезали образцы для определения их кратковременной и длительной (30 мин) горячей твердости, механических свойств ( $\sigma_B$ ,  $\delta$ , %), при комнатной и повышенных температурах.

Как показали данные макро- и микроструктурного анализа, под действием добавок сурьмы частицы эвтектического кремния существенно измельчаются, хотя по форме остаются пластинчатыми. При увеличении скорости кристаллизации длина пластинок уменьшается, форма приближается к глобулярной, но зависимость их размеров от условий охлаждения невелика. Следует отметить, что склонность к измельчению частиц кремния в Al + Si – эвтектике при увеличении скорости кристаллизации в присутствии добавок сурьмы значительно меньше, чем при модифицировании аналогичных сплавов стронцием.

Табл. 1. Механические и жаропрочные свойства отливок из сплава АК5М7, обработанного модификаторами длительного действия

Исследованный сплав	Температура испытания						
	20 °С			250 °С		300 °С	
	$\sigma_B$ , МПа	НВ, МПа	$\delta$ , %	НВ, МПа	$\tau$ , ч	НВ, МПа	$\tau$ , ч
Немодифицированный	160/130	980/980	0,5/0	300/300	100/90	240/240	80/80
С 0,06 % стронция	180/135	1010/1000	0,6/0,5	375/270	120/85	255/250	95/90
С 0,03 % сурьмы	180/145	1010/1000	0,7/0,5	375/370	120/100	255/250	95/90
С 0,1 % сурьмы	185/160	1020/1020	0,8/0,6	380/375	145/135	270/265	110/105
С 0,3 % сурьмы	182/155	1010/1020	0,7/0,5	375/370	140/130	260/255	105/100

Примечание. В числителе указаны значения для образцов, отлитых в кокиль, в знаменателе – в песчаную форму.

Табл. 2. Механические свойства сплава АК5М7, модифицированного добавками сурьмы и стронция после термообработки по режиму Т6

Исследованные сплавы	$\sigma_B$ , МПа	Твердость НВ	$\delta$ , %
Немодифицированный	280	1150	0,8
С 0,06 % стронция	290	1150	1,2
С 0,3 % сурьмы	295	1150	1,0

Результаты сравнительных испытаний механических и жаропрочных свойств сплавов в литом и термообработанном состояниях приведены в табл.1 и 2.

Как видно, изменения в структуре Al+Si = эвтектики при обработке сурьмой обеспечивают удовлетворительные механические свойства сплавов в литом состоянии. Прочность сплавов с добавкой сурьмы 0,03...0,3 % несколько превосходит прочность образцов, модифицированных стронцием и отлитых в кокиль и особенно в песчаные формы. Так же существенно повышаются и характеристики жаропрочности. Пластичность сплавов в литом состоянии практически не изменяется. После термообработки по режиму Т6 (закалка в воду с  $(515 \pm 5)$  °С, старение при 200 °С в течение 6 ч) выделения кремния значительно глобулизируются и пластичность сплава возрастает (см. табл. 2).

Оценивая с помощью микроанализа пористость отливок, полученных из сплавов, обработанных сурьмой, в разных условиях, можно отметить, что во всех случаях плотность их выше, чем при введении натрия или стронция. Даже при самых малых скоростях охлаждения в интервале кристаллизации (отливка в песчаные формы) микроструктура сплавов с оптимальными добавками сурьмы остается такой же плотной, как и у немодифицированных образцов (микропористость не выше 1 балла).

Модифицирующий эффект сурьмы сохранялся в расплаве длительное время (до 7 ч). К достоинствам обработки силуминов сурьмой следует отнести также технологичность ввода модификатора, удобство дегазации расплава, бо-

лее высокую жидкотекучесть и небольшое шлакообразование. При этом обеспечивается повышение прочностных характеристик на 15...23 % и жаропрочности на 40...50 %.

Все это позволяет рекомендовать добавки сурьмы (до 0,3 %) в качестве модификатора длительного действия в силуминах.

УДК 621.785:536.46

С.А. АСТАПЧИК, В.С. ГОЛУБЕВ, И.С. ЧЕБОТЬКО

## УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО СИНТЕЗА

В настоящей работе рассматривается способ изменения свойств поверхностных слоев образцов из металлических материалов при применении метода лазерного поверхностного синтеза (ЛПС).

В настоящее время имеется ряд работ по исследованию термохимического действия лазерного излучения [1]. На поверхности образцов из металлов были синтезированы соединения материала подложки с неметаллами: кислородом, азотом, бором, углеродом и др. При этом в качестве реагента использовались газ под большим давлением [2], прозрачная жидкость [3] или порошковый материал в виде обмазки.

В последнее время также интенсивно развивалась теория и практика самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС-процесса), при использовании которого удалось получить широкий класс различных химических соединений. Весьма перспективно использование лазерного нагрева для инициирования или поддержания реакций типа СВС. Лазерное облучение является уникальным средством управления химическими реакциями.

К СВС-процессу относятся некоторые реакции горения, которые после этапа инициирования начинают самоподдерживаться или самоускоряться за счет выделения теплоты. Для реакций СВС характерна сильная зависимость скорости тепловыделения от температуры, т. е. они должны обладать большой энергией активации при значительном тепловом эффекте. Специфические особенности таких реакций описываются следующими условиями [4]:

$$\frac{RT}{E_a} \ll 1, \quad \frac{C(RT^2/E_a)}{Q} \ll 1,$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – масштабная температура;  $E_a$  – энергия активации реакции;  $C$  – удельная теплоемкость;  $Q$  – тепловой эффект реакции.

СВС-процессу соответствует специфическое соотношение между мощностью тепловыделения и тепловыми потерями в реакции. Так, если тепловые потери велики, что характерно для опытов, где обеспечен отвод теплоты, нестехиометрических смесей, реакций с небольшим тепловым эффектом ( $Q \ll \ll CRT^2/E_a$ ), самораспространяющийся синтез реализовать не удастся. Если же реакция протекает в поле внешнего теплового источника, интенсивностью