

А. Н. Недужий, Л. К. Шеневидько

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ПОЛУЧЕНИЕ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК С НЕДЕНДРИТНОЙ СТРУКТУРОЙ ПЕРВИЧНОЙ ФАЗЫ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК7ч В ФОРМЕ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ УТЕПЛЕНИЕМ

Рассмотрена возможность получения литых заготовок с недендритной структурой α -фазы методом, который не требует использования сложных технологических операций, специального оборудования и дополнительного расхода электроэнергии.

Ключевые слова: недендритная структура, зерно, α -фаза, заготовка, кокиль, каолиновая вата.

Розглянута можливість одержання литих заготовок з недендритною структурою α -фази методом, який не потребує використання складних технологічних операцій, спеціального обладнання і додаткових витрат електроенергії.

Ключові слова: недендритна структура, зерно, α -фаза, заготівка, кокіль, каолінова вата.

It was examined possibility of the getting of the cast feedstocks with non-dendritic structure of the α -phase by the method that doesn't demand the investigate complicated technological operations, the special equipment and additional expenditure for electric power.

Keywords: non-dendritic structure, grain, α -phase, feedstock, chill mould, kaolin wool.

На сегодняшний день в мире разработано довольно много промышленных и лабораторных методов, а также процессов получения алюминиевых сплавов с недендритной структурой первичной фазы. Большинство из них для своей реализации предусматривают использование в производственном цикле дополнительного технологического оборудования и, как правило, увеличение расхода электроэнергии, что в итоге приводит к повышению стоимости литой продукции.

В литературе не так давно появились сведения о том, что недендритную глобулярную структуру первичной фазы в алюминиевом сплаве А356 можно получить с помощью прямого термического метода (DTM) [1]. Суть этого метода заключается в том, что указанный сплав заливают в тонкостенную медную цилиндрическую форму, которая при этом размещается и удерживается на штативе над закалочным резервуаром с водой. В этих экспериментах варьировали: перегрев (температуру заливки), диаметр формы, длительность изотермической выдержки и в некоторых случаях добавление натрия как модифицирующего вещества. После достижения требуемого времени изотермической выдержки зажим освобождали, и форма полностью погружалась в воду с целью закалки микроструктуры сплава. В результате при определенных условиях экспериментов в указанном сплаве была получена глобулярная микроструктура, причем без использования модификатора. Понятно, что такой подход к изготовлению металлопродукции является весьма выгодным в финансовом отношении. Так, в широкоизвестном процессе нового реолитья (NRC-процесс) [2], на одном из технологических этапов изготовления твердо-жидких заготовок для дальнейшего литья под давлением, стальная тонкостенная форма сверху и снизу накрывается теплоизоляционными керамическими колпачками. В результате в сплаве также образуется глобулярная структура первичной фазы.

Целью настоящей работы было установить возможность получения заготовок с недендритной глобулярной структурой первичной фазы из отечественного алюминиевого сплава непосредственно в полости утепленной металлической формы без использования дополнительного специального оборудования и сложных технологических операций.

Для проведения экспериментальных исследований выбрали промышленный литейный алюминиевый сплав марки АК7ч. В качестве опытной литейной формы – стальной кокиль со следующими размерами, в мм: толщина стенки формы – 5, верхний и нижний внутренние диаметры – 50 и 40 соответственно, глубина полости формы – 80. Алюминиевый сплав расплавляли в чугунном тигле печи сопротивления, покрытом внутри огнеупорной обмазкой, для предотвращения загрязнения расплава примесями железа. С помощью усовершенствованного метода термического анализа [3] определяли температуры ликвидуса и солидуса исследуемого сплава, значения которых составили 613,4 и 572,1 °С соответственно. Учитывая известные преимущества литья низкоперегретых алюминиевых сплавов, в настоящих исследованиях заливку опытной литейной формы осуществляли от низкоперегретого состояния расплава – при температуре заливки около 620 °С. Для контроля температуры заливки сплава в заливочном ковше, а также в центре формы устанавливали хромель-алюмелевые термодпары с диаметром проволоки 0,3 мм. В проведенных исследованиях алюминиевый сплав заливали в формы комнатной температуры и предварительно нагретые (как это показано в таблице). Для утепления опытной формы использовали каолиновую вату МКРР–130. Опытную литейную форму утепляли каолиновой ватой с помощью нескольких различных вариантов, которые в дополнительных условиях проведения экспериментов указаны в таблице. Сплав в форме охлаждали на воздухе. При достижении температуры 585–580 °С производили закалку сплава в воде. По записанным кривым охлаждения металла в форме для каждого отдельного опыта рассчитывали скорости охлаждения сплава в интервале температур кристаллизации, значения которых сведены в таблицу. Вес полученных литых заготовок составлял 200–240 г. Из средней части отливок в поперечном сечении вырезали темплеты и изготавливали шлифы для проведения металлографических исследований. Микроструктуру сплава исследовали в центральной части отливок, на расстоянии 0,5 радиуса от центра, и в приповерхностной зоне отливок.

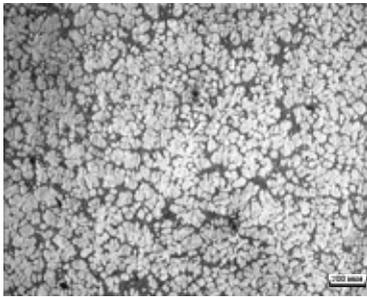
В процессе исследований были получены следующие результаты. После заливки алюминиевого сплава в форму комнатной температуры без дополнительного ее утепления каолиновой ватой в центральной и средней частях отливки образовалась недендритная микроструктура первичной фазы с размером зерна 120–380 мкм (рисунк, а). При заливке сплава в ненагретую форму, боковая поверхность которой снаружи была утеплена каолиновой ватой, в центре и середине отливки также сформировалась недендритная микроструктура α -фазы, морфология которой

Условия проведения экспериментальных исследований

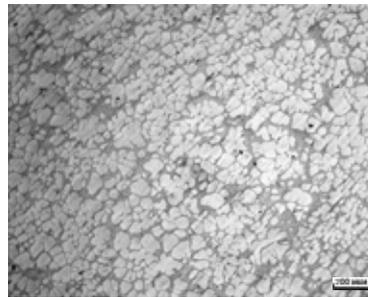
Номер образца	$T_{зал}, ^\circ\text{C}$	$T_f, ^\circ\text{C}$	$V_{охл}, ^\circ\text{C}/\text{с}$	Дополнительные условия проведения экспериментов
1	620	комнатная	3,25	форму не утепляли
2	620	комнатная	2,93	форму утепляли снаружи
3	620	комнатная	3,20	форму утепляли сверху после заливки сплава
4	620	224	3,01	форму не утепляли
5	620	373	1,67	форму утепляли сверху после заливки сплава
6	620	381	1,24	форму не утепляли
7	620	488	0,12	форму утепляли снаружи, а также сверху после заливки сплава
8	620	559	0,28	форму не утепляли
9	620	565	0,30	форму утепляли сверху после заливки сплава

Кристаллизация и структурообразование сплавов

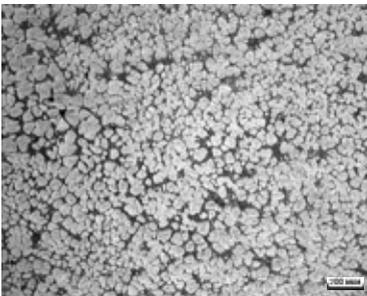
визуально была уже более округлой, чем в предыдущем случае (рисунок, б). При этом размер зерен первичной фазы составил 90-270 мкм. В результате заливки исследуемого сплава в кокиль комнатной температуры с последующим утеплением верха формы (зеркала металла) каолиновой ватой в центральной и средней зонах литой заготовки образовалась недендритная глобулярная микроструктура фазы α -Al с размером зерен 80-200 мкм (рисунок, в-г). Скорость охлаждения сплава при этом составляла 3,20 °C/с. После заливки алюминиевого сплава в предварительно нагретые формы до температур 224, 373 и 381 °C в центре и середине отливок образовалась недендритная структура первичной фазы с размером зерен 100-370 мкм (таблица, образцы № 4-6). При этом скорость охлаждения сплава с увеличением температуры формы уменьшалась от 3,01 до 1,24 °C/с. При заливке сплава в нагретую форму (температура 488 °C), боковая поверхность которой снаружи была утеплена каолиновой ватой, с последующим после заливки утеплением ею и верха формы в исследуемых зонах отливки сформировалась вырожденная дендритная микроструктура со средней величиной литого зерна не менее 580 мкм (таблица, образец № 7). В результате заливки исследуемого сплава в форму, предварительно



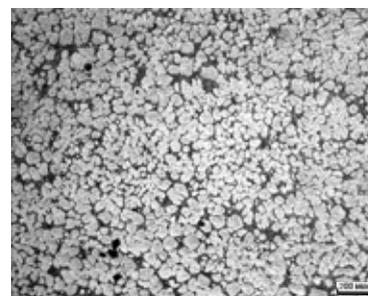
а



б



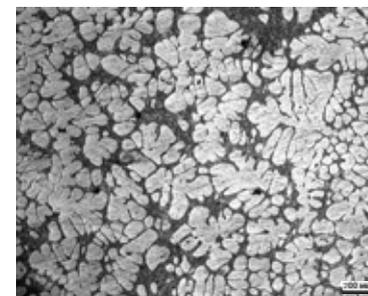
в



г



д



е

Микроструктуры литых заготовок из сплава АК7с: а – без утепления формы; б – наружная боковая поверхность формы была утеплена каолиновой ватой; в, г – верх формы утеплили каолиновой ватой (а-г – форма комнатной температуры); д – без утепления формы; е – верх формы утеплили каолиновой ватой (д – $T_{\phi} = 559$; е – $T_{\phi} = 565^{\circ}\text{C}$)

нагретую до температуры 559 °С, без дополнительного ее утепления во всех изучаемых местах литой заготовки образовалась традиционная дендритная структура со средним размером зерна не менее 770 мкм (рисунок, д). После литья алюминиевого сплава в кокиль, нагретый до температуры 565 °С, с последующим после заливки утеплением верха формы каолиновой ватой в исследуемых зонах отливки сформировалась вырожденная дендритная микроструктура с розеткоподобной морфологией фазы α -Al и средним размером зерна не менее 440 мкм (рисунок, е). При этом интересно отметить, что в предпоследнем и последнем случаях скорость охлаждения сплава в интервале кристаллизации была почти одинаковой – 0,28 и 0,30 °С/с соответственно. Необходимо также отметить, что во всех случаях, где это не указано отдельно, в приповерхностной зоне отливок образовалась в основном дендритная микроструктура первичной фазы.

Полученные литые заготовки с недендритной структурой первичной фазы можно использовать, например, в технологиях тиксоформирования. При этом следует отметить, что поскольку в указанных заготовках с недендритной структурой приповерхностный слой в основном дендритный, то при наличии жестких требований конкретной технологии к однородности недендритной структуры по всему сечению литой заготовки этот слой необходимо будет удалять механическим путем.

Выводы

- Установлена возможность получения литых заготовок с недендритной, даже глобулярной структурой первичной фазы из отечественного литейного алюминиевого сплава АК7ч путем заливки низкоперегретого металла в полость литейной формы комнатной температуры с последующим утеплением ее верха каолиновой ватой.

- Показано, что утепление каолиновой ватой верха ненагретой опытной формы после заполнения ее сплавом способствует формированию в заготовке более округлой недендритной морфологии структуры фазы α -Al, чем в случае утепления боковой поверхности кокиля или вообще без его утепления. Использование предварительно нагретой до температуры 565 °С формы и утепление ее верха после заливки сплава способствует образованию в литой заготовке более компактной вырожденной дендритной структуры с розеткоподобной морфологией, чем в случае использования аналогично нагретого кокиля только без утепления его верха, где формируется традиционная дендритная микроструктура α -фазы.

- Предполагается, что при утеплении каолиновой ватой верха формы после заполнения ее сплавом в охлаждающемся и кристаллизующемся металле развиваются такие конвективные потоки, которые вызывают определенное конвективное перемешивание сплава, и интенсивность которых, очевидно, уже позволяет смывать диффузионный слой с растущих кристаллов α -Al, что и приводит в итоге к формированию более компактных глобулярных форм кристаллов первичной фазы.



Список литературы

1. Direct Thermal Method: New Process for Development of Globular Alloy Microstructure / D. J. Browne, M. J. Hussey, A. J. Carr et. el. // International Journal of Cast Metals Research. – 2003. – Vol. 16, № 4. – P. 418-426.
2. Мельников Н. А. Новые процессы литья под давлением востребованы производством // Литейн. пр-во. – 2003. – № 12. – С. 20-21.
3. Борисов Г. П., Смульский А. А., Семенченко А. И. Экспресс-контроль расплава и прогнозирование свойств будущей отливки на стадии приготовления жидкого металла на основе усовершенствованного метода термического анализа // Процессы литья. – 2007. – № 1-2. – С. 19-22.

Поступила 19.03.2014