



It is established that application as a burden of quick-cooled dispersed materials at their full solution enables to receive the alloys with high indices of mechanical characteristics without additional out-of-furnace processing.

Г. В. ДОВНАР, Л. П. ДОЛГИЙ, А. А. АНДРИЦ, А. С. КАЛИНИЧЕНКО, БНТУ

УДК 621.74

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЫСТРООХЛАЖДЕННЫХ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Наиболее широкое применение быстроохлажденные дисперсные материалы (порошки, чешуйки, ленты, гранулы) нашли в технологии обработки металлов давлением и порошковой металлургии. В литейном производстве такие материалы могут использоваться в качестве высококонцентрированных лигатур при их полном либо частичном растворении в легируемом расплаве. Наряду с хорошей растворимостью они позволяют также получать сплавы с дисперсной гетерогенной структурой и, кроме того, снижать содержание в сплаве дорогостоящих легирующих компонентов.

В свою очередь можно выделить два направления при использовании быстроохлажденных сплавов в случае их полного расплавления. В первом случае – использование в качестве шихты для плавки и заливки 100%-ной дисперсной шихты, переплав предварительно приготовленных материалов определенного химического состава, во втором – добавление в расплавленный металл необходимого количества быстроохлажденных дисперсных лигатур для получения требуемого химического состава, а также механических и технологических свойств конечного сплава [1].

Эффект повышения качества литых изделий в случае полного растворения определяется наследственным влиянием структуры используемой лигатуры. Данное явление предположительно можно объяснить тем, что при растворении лигатуры в расплаве даже при температуре выше ликвидус остаются ультрадисперсные частицы не полностью растворившихся фаз, которые по своей физико-химической природе являются активными и играют роль подложек гетерогенной кристаллизации.

Исследование влияния вида шихты на структуру и свойства выплавляемых сплавов проводили на базе промышленных алюминиевых сплавов

АК9, АК5М4 и АК12ч с использованием традиционной чушковой шихты, гранулированной в воде, и ленточной, полученной при кристаллизации на медных валках [2].

Установлено (рис. 1), что состояние используемой шихты значительное влияние оказывает в первую очередь на пластические свойства сплавов: у всех сплавов с переходом на быстроохлажденные шихтовые материалы возрастает пластичность. При этом наибольший рост данного показателя наблюдается у сплава АК5М4 (в 2 раза). Отмечена и общая закономерность, проявляющаяся в повышении прочности у сплавов с переходом на высокодисперсную шихту.

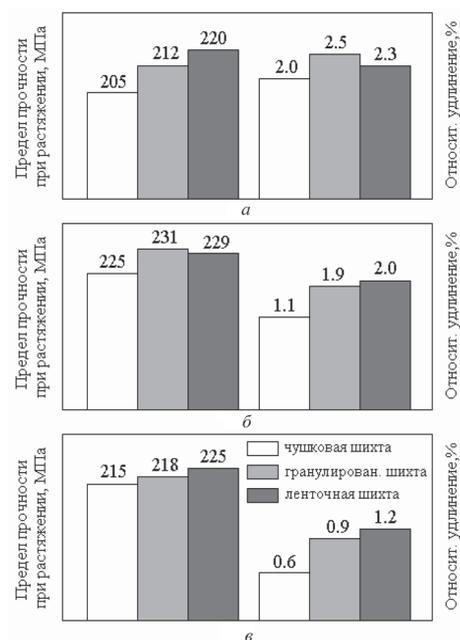


Рис. 1. Влияние вида используемой шихты на механические свойства алюминиевых сплавов: а – АК12ч; б – АК9; в – АК5М4

Кроме того, переплав дисперсной шихты до 4 раз приводит к незначительному укрупнению микроструктуры (рис. 2), что отражается и на механических свойствах исследуемых сплавов. Полученные результаты свидетельствуют о четко выраженной металлургической наследственности, так как во всех случаях сплавы при переплавах переводились в жидкое состояние с перегревом над температурой ликвидуса на 130–150 °С.

Таким образом, использование в качестве шихты быстроохлажденных дисперсных материалов позволяет получать сплавы с высокими показателями механических свойств без дополнительной внепечной обработки. Увеличение количества переплавок, что обычно связано с переработкой возврата и вторичного сырья независимо от вида используемой шихты приводит к незначительному укрупнению микроструктуры. Свойства сплавов при этом практически не меняются.

Вторым направлением при использовании дисперсных шихтовых материалов при полном их растворении является введение высококонцентрированных быстроохлажденных лигатур в обычный расплав для получения необходимых свойств и химического состава.

Лабораторные исследования процесса полного растворения быстроохлажденных лигатур прово-

дили с использованием гранулированных сплавов систем Al-10% Ti, Al-15% Cr, Al-25% Fe и гранулированного промышленного силумина САС-1 (Al+30% Si), порошкового сплава САС-1–50 (30% Si, 6% Ni, Al-ост.) и ленточного сплава Al + 25% Fe. Для сравнения эффективности действия лигатур параллельно готовили сплавы с применением традиционных кусковых лигатур. Во всех случаях для уменьшения объема вводимой лигатуры в качестве базового сплава выбирали не чистый алюминий, а сплав алюминия с соответствующим переходным металлом или кремнием, отвечающий эвтектическому составу по диаграмме стабильного равновесного состояния. При этом варьировали температуру расплава и время растворения.

При растворении порошка и в некоторых случаях дисперсных гранулированных лигатур, несмотря на достаточно высокую температуру процесса, возникали проблемы, связанные с низким усвоением материалов, что обусловлено их частичным ошлаковыванием из-за высокой устойчивости оксидной пленки алюминия на поверхности мелких частиц [3].

Установлено, что добавки такого активного флюса, как криолит, в количествах 10–15% от массы вводимой лигатуры позволяют активизировать поверхность микрослитков и получить усвоение лигатур до 95%. Опробованы два варианта введе-

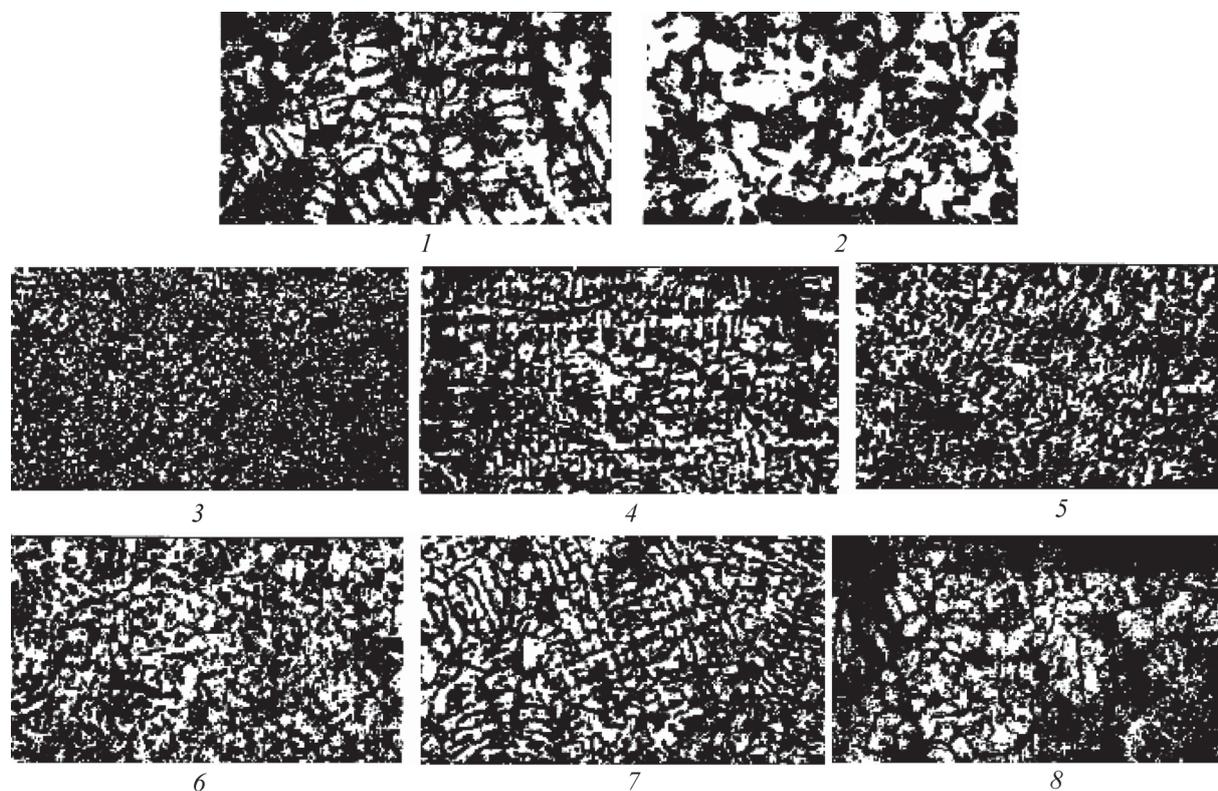


Рис. 2. Влияние вида шихты и переплавок на микроструктуру сплава АК124: 1 – чушковая шихта (исх.); 2 – четвертый переплав чушковой шихты; 3 – гранулы (исх.); 4 – первый переплав гранул; 5 – четвертый переплав гранул; 6 – лента (исх.); 7 – первый переплав лент; 8 – четвертый переплав лент. $\times 200$

ния лигатуры совместно с флюсом: механическая смесь флюса и лигатуры и брикетирование вводимых компонентов. Во втором случае степень усвоения лигатур выше. Криолит служит также рафинирующей добавкой за счет образования газообразных фторидов.

В результате проведенных экспериментов установлен сложный механизм растворения дисперсных лигатур в расплаве, заключающийся в циклической зависимости размеров первичных интерметаллидов и кремния от времени выдержки приготавливаемого расплава, что связано с изменяющимися условиями гетерогенной кристаллизации (рис. 3–5).

Укрупнение структуры при выдержке растворимой лигатуры до 5 мин (рис. 3), вероятно, связано с тем, что первыми растворяются мелкие

и средние включения Si_1 , а при охлаждении кристаллизация растворенного кремния будет происходить на уже имеющихся центрах, каковыми являются не успевшие полностью раствориться относительно крупные первичные кристаллы кремния. При увеличении выдержки лигатуры в расплаве до 10 мин завершается растворение Si_1 и последующая кристаллизация сплава после заливки в форму определяется общей дисперсностью структурных составляющих лигатуры – первичные кристаллы формируются более мелкими, т. е. проявляется наследственность структуры [4]. Увеличение времени выдержки лигатуры в расплаве до 20 мин частично снимает наследственное влияние шихты, структура сплава незначительно укрупняется. В дальнейшем при выдержке растворимой



Рис. 3. Влияние температуры и времени выдержки лигатур в эвтектическом расплаве на средний размер первичного кремния сплава Al + 20%Si

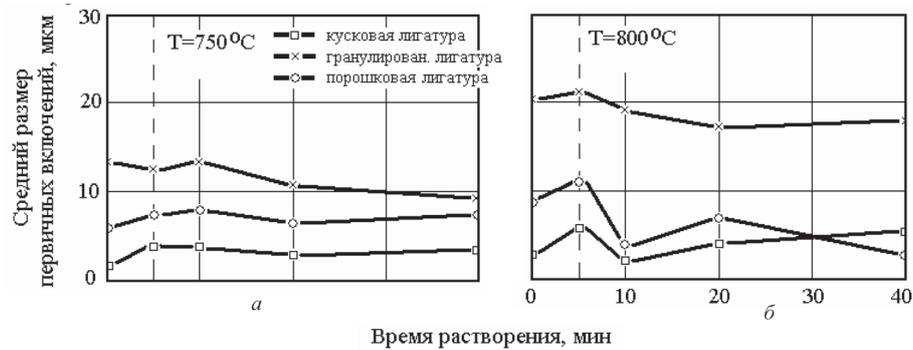


Рис. 4. Влияние температуры и времени выдержки лигатур в эвтектическом расплаве на средний размер первичных интерметаллидов сплава Al + 3% Fe

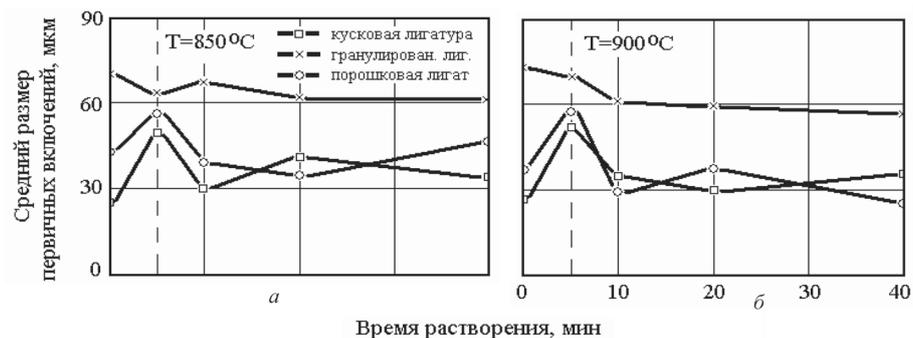


Рис. 5. Влияние температуры и времени выдержки лигатур в эвтектическом расплаве на средний размер первичных интерметаллидов сплава Al + 5% Cr

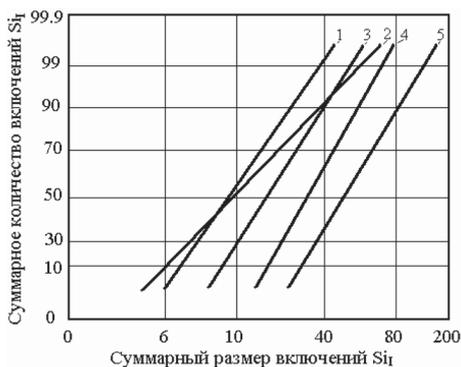


Рис. 6. Распределение в сплаве Al + 18% Si кристаллов первичного кремния в зависимости от способа его введения в расплав эвтектического состава: 1 – элементарный Si + 0,1% P; 2 – порошок САС-1–50; 3 – гранулы Al + 30% Si; 4 – кусковая лигатура Al + 30% Si; 5 – элементарный Si

лигатуры в расплаве свыше 20 мин процесс кристаллизации стабилизируется и существенных изменений размеров первичных кристаллов кремния не наблюдается.

Аналогичные зависимости получены и на системах Al-Cr и Al-Fe (рис. 4, 5).

Характер изменения структуры сплавов, полученных с использованием гранулированных лигатур (рис. 3–5), требует дальнейших исследований.

Во всех случаях первичная структура конечных сплавов при использовании мелкодисперсных лигатур была значительно мельче, чем при использовании традиционных лигатур. Исключение составляют сплав алюминий – кремний, полученный введением в алюминий элементарного кремния, а не лигатуры, и сплав, микролегированный фосфором (рис. 6), что свидетельствует о преобладающем влиянии активных модификаторов структуры в сравнении со скоростью охлаждения.

В результате термического анализа сплавов, легированных быстроохлажденными лигатурами, установлено, что на кривых охлаждения критическая точка, соответствующая началу первичной кристаллизации (ликвидус), практически не просматривается. Это свидетельствует о том, что первичная кристаллизация данных сплавов происходит с отклонением от классической схемы. Отмечено также, что в случае введения дисперсных лигатур совместно



Рис. 7. Влияние вида и состава лигатуры Al + 5% Ti на механические свойства сплава АК5М2: 1 – без добавок; 2 – 0,1% Ti (кусковая лигатура); 3 – 0,1% Ti (гранулированная лигатура); 4 – 0,1% Ti (ленточная лигатура); 5 – 0,05% Ti (ленточная лигатура)

с флюсом температура эвтектического превращения смещается в сторону увеличения на 10–15 °С.

Влияние дисперсных лигатур при их полном растворении на механические свойства промышленных сплавов опробовано на сплавах АК5М2 и АК12ММгН. Лабораторные испытания сплава АК5М2 показали, что его легирование небольшими (до 0,1%) добавками титана с целью упрочнения твердого раствора приводит к повышению его механических свойств (рис. 7). При этом установлено, что при переходе на дисперсную лигатуру для получения заданных свойств требуется значительно меньшее количество легирующего элемента при прочих равных условиях.

Выводы

1. Использование в качестве шихты или компонентов шихты быстроохлажденных дисперсных материалов при их полном растворении позволяет получать сплавы с высокими показателями механических свойств без дополнительной внепечной обработки. Установлено, что для получения заданных свойств при переходе на дисперсную лигатуру требуется меньшее количество дорогостоящих легирующих элементов.

2. Переплавление рабочих расплавов, полученных по приведенной выше технологии до 4 раз, приводит к незначительному укрупнению микроструктуры. Это позволяет использовать возврат литья без нарушения предлагаемой технологии.

Литература

1. Д о в н а р Г. В. Исследование методов управления структурообразованием сплавов алюминия с тугоплавкими компонентами и разработка на их основе новых технологических процессов получения отливок: Дис. ... канд. техн. наук. Мн., 1993.
2. Д о л г и й Л. П. Совершенствование и создание новых методов обработки расплава с использованием высокой скорости кристаллизации для повышения эксплуатационных характеристик литейных алюминиевых сплавов: Дис. ... канд. техн. наук. Мн., 1996.
3. А н д р и ц А. А. Металлургическая переработка неразделанного лома и дисперсных отходов на основе алюминия: Дис. ... канд. техн. наук. Мн., 2006.
4. Н и к и т и н В. И. Исследование применения наследственности шихты для повышения качества отливок // Литейное производство. 1985. № 6. С. 20–21.