

УДК 621.365.58:669.715

Г.В.Геллер (асп., каф. СиС), С.В.Андреева (м.н.с., каф. СиС),
Е.И.Казакова (вед. инж., каф. СиС) А.А.Казаков, д.т.н., проф.

ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРЫ ПОЛУТВЕРДОГО МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ИНДУКЦИОННОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ПЕРЕОХЛАЖДЕННОГО РАСПЛАВА

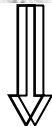
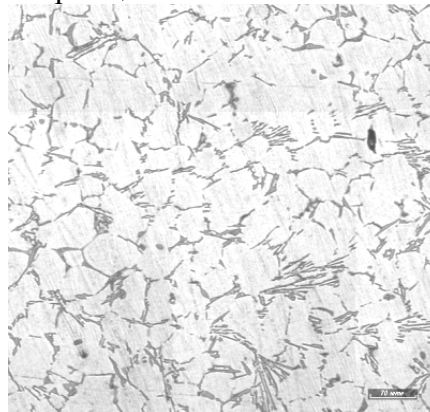
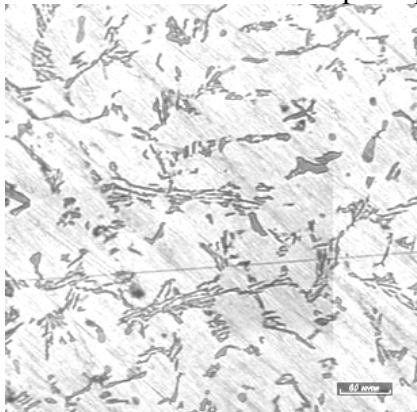
Целью данной работы является выявление технологических возможностей получения материалов с тиксотропной структурой методом индукционного перемешивания переохлажденного расплава (ИППР).

Реализацию технологии ИППР осуществляли в индукционной печи ИСВ 001 ПИ. В индуктор помещали графито-шамотный тигель вместимостью 3 кг сплава АК7 (Al-7%Si). В перегретый расплав погружали цилиндрические холодильники. Использовали два типа медных водоохлаждаемых холодильников: №1 и №2 с внешним диаметром 15 и 25 мм, соответственно. Заданной температуры расплава при неизменной мощности добивались за счет изменения глубины погружения холодильника в расплав. После достижения заданной температуры производили отбор проб расплава. Пробы отбирали методом вакуумного всасывания в кварцевые трубки. Были выполнены эксперименты с модифицированным и немодифицированным расплавами. Для оценки эффективности технологии ИППР в каждой плавке отбирали “холостые” пробы до ввода холодильника. Отобранные пробы подвергали повторному нагреву. Операция повторного нагрева производилась в индукционной печи и в печи сопротивления.

Из отобранных проб изготавливали образцы для металлографических исследований. Шлифоподготовку проводили на оборудовании фирмы Buehler. Оцифровку структур производили с помощью анализатора изображения Thixomet Standard. Анализатор изображения позволял получить количественную характеристику структуры по следующим параметрам: объемная доля α -твердого раствора, средний размер зерна, фактор формы (степень приближения формы зерна к сфероидальной).

Были проведены 4 экспериментальные плавки, 6 повторных нагревов, отобрано 33 пробы металла, изготовлено и проанализировано 79 структур. В качестве примера на рис. 1 представлены структуры одной из плавков.

Микроструктура литых образцов



Микроструктура образцов после повторного нагрева

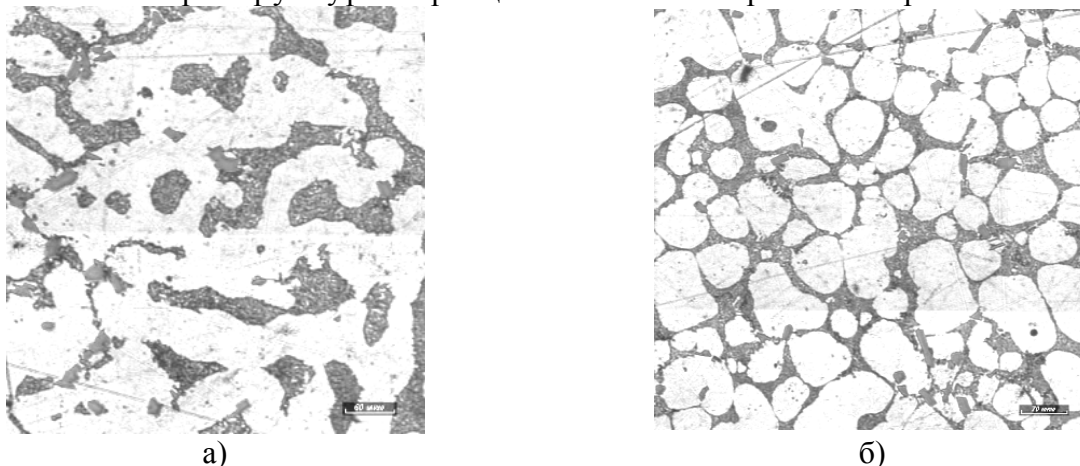


Рис. 1. Эволюция структуры сплава АК7
(а) – без какой-либо обработки; (б) – после ИППР

Из рис. 1 видно, что литая структура “холостой” пробы (без ввода холодильника) имеет дендритное строение, что особенно четко выявляется при повторном нагреве образца. Проба, отобранная при использовании холодильника (метод ИППР), имеет как в литом состоянии, так и после повторного нагрева равноосную структуру.

Исходя из анализа экспериментальных данных можно предложить следующую физическую картину явлений, происходящих при реализации процесса ИППР. Из-за взаимодействия магнитных полей тока индуктора и тока, наведенного в расплаве, возникает его интенсивное перемешивание в индукционной печи. При введении холодильника часть мощности отводится из расплава, а температура снижается, достигая температуры ликвидус и ниже. При этом взаимодействие магнитных полей токов не устраняется и интенсивное перемешивание продолжается. При соприкосновении потоков расплава с холодильником переохлаждение может достигать 10—15°C, провоцируя активное зародышеобразование. То есть, холодильник является генератором зародышей, которые распределяются по всему объему ванны. Зародыши, попавшие в приповерхностную зону расплава, где выделяется основное тепло при индукционном нагреве, исчезают, а зародыши, попавшие в основной объем переохлажденного расплава, сохраняются. Известно, что для создания мелкодисперсной равноосной структуры при объемной кристаллизации необходимо иметь около 1 объемного % зародышей.

По результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Показано, что индукционное перемешивание переохлажденного расплава (ИППР) обеспечивает получение мелкодисперсной равноосной структуры сплава.
2. Площадь контактной поверхности холодильника с расплавом и соответственно количество центров кристаллизации регулировались диаметром холодильника и глубиной его погружения в расплав. Применение малого холодильника с точки зрения получения равноосной структуры малоэффективно. Из-за ограниченных возможностей по отводу тепла этого холодильника не удалось вводить в расплав мощность выше 10 кВт, тогда как большой холодильник даже при 20 кВт мощности работал не на пределе своих возможностей.
3. Было выявлено, что состояние динамического равновесия между числом зародышей, спровоцированных холодильником, и числом зародышей, растворившихся в зоне перегрева, устанавливается спустя 15-20 минут после ввода холодильника в расплав.
4. При последующем повторном нагреве зерна α -твердого раствора сфероидизируются без образования включений эвтектики внутри зерен. Фактор формы достигает значения 0.6, а значение среднего диаметра зерен равно 35 μm .

5. Сравнение панорам (20 полей зрения) структуры литых образцов показало, что “холостые” пробы имеют структурную неоднородность по направлению от края к центру. Наиболее равномерная структура зафиксирована в панораме образца, отобранного при использовании холодильника № 2.