

УДК 621.762

МЕТОДЫ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК

И. В. ЛУГОВЦОВ, Н. Б. КИСЕЛЕВИЧ

Научный руководитель А. И. ХАБИБУЛЛИН, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Повышение механических и эксплуатационных свойств изделий является важной задачей, позволяющей обеспечить их надежность и долговечность.

Размер зерна металла влияет на все его механические свойства: прочность, твердость, пластичность, ударную вязкость. При измельчении размера зерна от № 1 (0,3 мм) до № 14 (0,3 мкм) все механические свойства повышаются в 8 раз. Наноматериалы, имеющие размеры зерен менее 100 нм, переводят изделия в новое качество. Например, уменьшение размера зерна с 10 мкм до 10 нм повышает прочность металла в 30 раз.

Измельчение зерна можно проводить как в процессе плавки металла, так и при термообработке.

При плавке и затвердевании металла, чем больше центров кристаллизации и меньше скорость их роста, тем меньше зерно. Следовательно, с увеличением степени переохлаждения размер зерна уменьшается. Этот эффект используют при сверхскоростном охлаждении сплавов с целью получения наноматериалов и аморфных сплавов.

Кроме этого, на размер зерна оказывает большое влияние наличие в расплаве посторонних примесей. В реальных процессах примеси являются основными центрами кристаллизации.

Изменить число центров кристаллизации можно четырьмя методами:

- 1) изменить скорость охлаждения и тем самым величину переохлаждения;
- 2) увеличить или уменьшить перегрев металла перед разливкой;
- 3) ввести в жидкий металл мельчайшие нерастворимые примеси (готовые центры кристаллизации);
- 4) уменьшить поверхностное натяжение растущих кристаллов путем добавки активных растворимых примесей.

Как правило, модифицирование осуществляют введением специальных добавок, образующих тугоплавкие соединения (карбиды, нитриды и оксиды).

Обычно для измельчения зерна в литейном производстве Республики Беларусь используют модифицирующую лигатуру на железно-кремниевой основе ФС30РЗМ30 ТУ 14-5-136-81.

При взаимодействии редкоземельных модификаторов (РЗМ) с расплавами сталей в первую очередь образуются оксиды, а затем сульфиды. Характерным свойством для образованных посредством РЗМ оксидов и сульфидов является высокая тугоплавкость. Таким образом, оксиды и сульфиды РЗМ являются центрами кристаллизации. Поэтому при обработке литых сталей комплексными сплавами с РЗМ отмечается повышение пластичности, ударной вязкости, снижение порога хладноломкости.

Однако размеры образующихся при плавке частиц оксидов и сульфидов составляют десятки и сотни микрометров, что не позволяет в полной мере использовать эффект измельчения зерна.

Кроме того, модифицирующую легитурку на железно-кремниевой основе приходится покупать из-за рубежа. Применяя метод реакционного механического легирования, можно получать из дешевых и доступных исходных материалов модифицирующую шихту для литья любых типов сплавов по универсальной технологии, разработанной в Белорусско-Российском университете.

Механическое легирование является универсальным методом синтеза химических соединений в различных порошковых материалах. При этом способе происходит интенсивное измельчение исходных компонентов в энергонапряженных мельницах. Частицы композиции в процессе обработки наклепываются и разрушаются. Кроме того, исходные компоненты могут реагировать друг с другом, образуя частицы тугоплавких соединений нанометрического масштаба, которые представляют собой готовые центры кристаллизации в расплавах.

К существенным преимуществам предлагаемой технологии относятся простота и надежность необходимого оборудования. Для реализации технологического процесса синтеза наноразмерных модификаторов необходима лишь вибрационная мельница с определенными характеристиками энергонапряженности.

В результате проведения лабораторных исследований было установлено, что для протекания механохимических превращений необходимо обеспечить нормальные ускорения мелющим телам порядка $120 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$. Поэтому исходными данными для расчета промышленного механореактора, обеспечивающего стабильность результатов при обработке исследуемых композиций, служили: объем помольной камеры $V = 0,03 \text{ м}^3$; нормальное ускорение корпуса и мелющих тел $a = 120$; частота вращения дебалансного вала $n = 1450 \text{ мин}^{-1}$.

Так как у серийно выпускаемых промышленных вибромельниц амплитуда круговых колебаний корпуса не превышает 4 мм, нормальные ускорения корпуса составляют менее $100 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$, пришлось изготавливать оригинальную вибрационную мельницу. С целью повышения энергонапряженности процесса была выбрана схема с внутренним вибратором, т. е. кожух вибратора, находящийся в центре помольной камеры, поддерживает амплитуду круговых колебаний загрузки. Кроме того, такая конструкция повышает компактность установки и безопасность обслуживания.

Технические характеристики разработанной вибромельницы:

- 1) тип вибровозбудителя – инерционный;
- 2) круговая частота – 152 с^{-1} ;
- 3) амплитуда круговых колебаний – $0,0052 \text{ м}$;
- 4) объем помольной камеры – $0,03 \text{ м}^3$;
- 5) диаметр мелющих тел – $0,01 \text{ м}$;
- 6) масса мелющих тел – 90 кг ;
- 7) материал мелющих тел – сталь ШХ15СГ;
- 8) электродвигатель:
тип – 4А132М4У3;

мощность – 11 кВт;

частота вращения – 1450 мин⁻¹;

9) масса – 380 кг.

Основным достоинством вибрационных мельниц является относительная простота. К недостаткам схемы относятся зависимость траектории движения камеры от массы загрузки и высокая окружная скорость дебалансов.

В качестве исходных компонентов для приготовления модифицирующей лигатуры использовались порошки: железа – ПЖ2М, алюминия – ПА-4. Для получения оксида железа проводили отжиг порошка железа при температуре 900 °С до образования порошка черного цвета. Основой лигатуры является порошок железа. Суммарное содержание легирующего компонента – алюминия в шихте составляло 6 %, идущего на образование оксида алюминия.

В системах «Fe–Al–оксид железа» механизм формирования модифицирующей лигатуры состоит из одновременно протекающих и взаимосвязанных процессов:

- 1) образование композиции с высокодисперсным и равномерным распределением легирующих компонентов;
- 2) растворение алюминия в железной основе и образование пересыщенного твердого раствора;
- 3) распад пересыщенного раствора с выделением наноразмерных частиц алюминия;
- 4) внутреннее окисление алюминия оксидом железа и образование наноразмерных частиц оксида Al_2O_3 .

Образовавшиеся в процессе внутреннего окисления оксиды алюминия находятся в виде наночастиц (5...20 нм) и являются тугоплавкими термостабильными соединениями, т. е. эффективными модификаторами первой группы.

Преимуществами разработанной технологии, в сравнении с редкоземельными модификаторами, являются:

- 1) доступность и дешевизна исходных компонентов;
- 2) синтезирование модификаторов (Al_2O_3) размером до 5 нм;
- 3) процесс образования модификаторов завершается в расплаве за счет термической активации, что снижает вероятность флотации в отливке химических соединений малой плотности;
- 4) равномерное распределение центров кристаллизации по всему объему;
- 5) повышение механических и эксплуатационных свойств стальных отливок;
- 6) возможность отказа от импортных поставок модификаторов.