

УДК 621.746.39

Я.В. Сегеда, В.Т. Калинин, В.Ф. Мазорчук

СТРУКТУРНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИТНОГО СЛОЯ ПРИ ПРОПИТКЕ Fe-C РАСПЛАВОМ НАНОПОРОШКА TiCN

Аннотация. Проведены исследования температурных полей в слое пропитываемого нанопорошка. Установлены зависимости глубины, времени и величины скорости пропитки от температуры заливаемого металла. Проведены металлографические исследования полученных образцов композитных сплавов состава TiCN – хромоникелевый чугун.

Постановка и анализ проблемы

По данным работ [1,2] механизм взаимодействия расплава металла с пористым слоем легирующего вещества включает следующие процессы:

1. Нагрев слоя порошка или пасты за счет физического тепла расплава.
2. Фильтрация расплава в поры легирующего вещества и дальнейший разогрев его.
3. Растворение зерен легирующего вещества в жидкой фазе в момент фильтрации расплава.
4. Растворение легирующего вещества в жидкой фазе после заполнения межзеренного пространства.
5. Диффузия элементов при охлаждении их в твердом состоянии.

Растворение легирующего вещества, если оно состоит из тугоплавких карбидов, отрицательно влияет на микроструктуру композитного сплава, а следовательно, и на показатели механических свойств. Степень растворения легирующих веществ в жидкой фазе зависит от длительности контакта жидкого расплава и частиц легирующего вещества, а также от температуры компонентов. Для того, чтобы уменьшить растворение твердых частиц необходимо вести процесс пропитки при возможно более низких температурах. Вместе с тем пропитывающий расплав должен иметь запас тепла достаточный для того, чтобы сохранить способность течь в течении времени, необходимого для пропитки слоя порошка ли пасты на заданную

© Сегеда Я.В., Калинин В.Т., Мазорчук В.Ф., 2010

глубину. Поэтому в каждом конкретном случае существует оптимальная температура заливки расплава, величина которой зависит от теплофизических параметров контактирующих фаз и теплоаккумулирующей способности литейной формы.

Цель работы

Установление зависимости глубины и величины скорости пропитки от температуры заливаемого металла и формирование структуры композитного слоя при пропитке чугуном расплавом нанопорошка карбонитрида титана.

Изложение основного материала исследований

Для определения оптимальных температур заливки, а также определения скорости и длительности пропитки были проведены исследования температурных полей в слое пропитываемого нанопорошка. В качестве упрочняющей твердой фазы применяли нанопорошок тугоплавкого карбонитрида титана (TiCN), полученный методом плазмохимического синтеза на специальной высокочастотной установке [3] с размером частиц 10 – 100 нм и наиболее оптимальными термодинамическими характеристиками [4]. Нанопорошок TiCN засыпали в полость песчано-глинистой формы диаметром 25 мм и высотой 60 мм. По высоте формы через каждые 5 мм устанавливали хромель-алюмелевые термопары. Спай термопар располагали на расстоянии 5 мм от верха засыпанного нанопорошка (рис.1). Для записи показаний термопар использовали тридцатиточечный шлейфовый осциллограф Н-010. Форму с установленными термопарами и засыпанным нанопорошком TiCN устанавливали в печь сопротивления, нагревали до 850-880 °С и затем производили заливку связующего сплава.

В качестве связующего сплава использовали чугун с содержанием С - 3,5-3,6%; Cr – 0,6%; Ni – 1,5%; Si – 0,45-0,55%; Mn – 0,3-0,4%, S и P не более 0,1%. Чугун плавил в индукционной печи и выпускали при температуре 1500- 1510 °С. Заливку форм с нанопорошком производили сверху при температуре чугуна 1450-1460 °С.

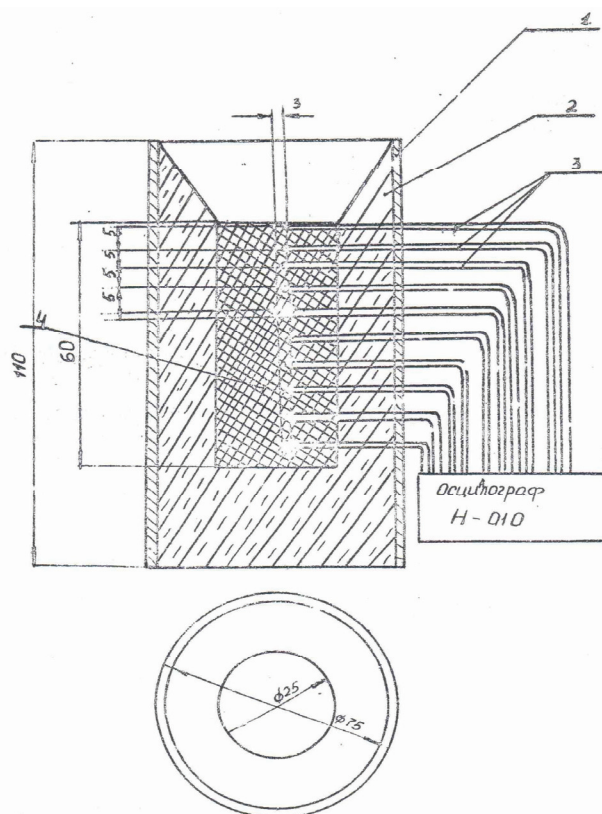


Рисунок 1 - Собранная форма для определения скорости пропитки:

- 1 – опока; 2 – формовочная смесь; 3 – термопары,
4 – нанопорошок TiCN

При достижении пропитывающим металлом уровня термопары, последняя показывала скачок температуры, который фиксировался на осциллограмме. Зависимость глубины пропитанного слоя от температуры и времени приведена на рис. 2. Видно, что с увеличением времени выдержки и уменьшением температуры глубина пропитанного слоя, являющейся главной технологической характеристикой, резко уменьшается. Уменьшается и скорость фильтрации связующего жидкого расплава в межзеренное пространство с увеличением пройденного пути и температуры рис. 3.

Формирование металлокерамического слоя при совмещенном процессе литья с пропиткой происходит в системе, состоящей из нанодисперсной твердой фазы и жидкого расплава. Так как размер частиц твердой фазы мал (менее 100 нм) и поры, пронизывающие слой нанопорошка имеют размер того же порядка, то система является капиллярной. Поэтому пропитываемый слой нанопорошка можно рассматривать как капиллярно-пористое тело.

Проникновение расплава в поры нанопорошка определяют два фактора – движущая сила (капиллярное и внешнее давление) и затвердевание расплава.

Самопроизвольная пропитка возможна в том случае, если процесс пропитки соответствует общим термодинамическим критериям направленности процессов и идет с убылью свободной энергии системы пористый слой – расплав, т.е. $\Delta F < 0$, где ΔF – изменение свободной энергии системы в результате пропитки.

Вследствие трудности экспериментального определения и теоретической оценки свободной энергии, для оценки процесса пропитки используют величину, доступную непосредственному измерению:

$$\cos \theta = \frac{y_{т-г} - y_{т-ж}}{y_{ж-г}} \quad (1)$$

где θ – угол смачивания, отсчитываемый со стороны жидкой фазы.

Угол смачивания количественно характеризует склонность расплава к растеканию в пористом теле. Самопроизвольно пропитка расплавом нанопорошка возможна при условии, что угол смачивания нанопорошка расплавом меньше 90° . Угол смачивания определяется не только по физико-химическим свойствам контактирующих веществ, но и зависит также от температуры расплава и пористого слоя, времени выдержки в контакте и других факторов.

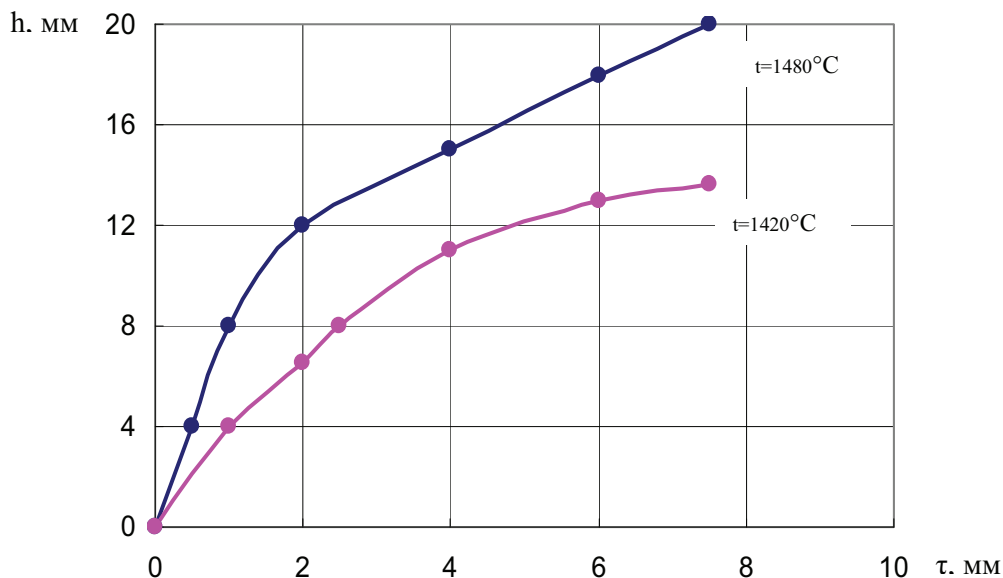


Рисунок 2 - Зависимость глубины пропитки и температуры заливаемого металла от времени выдержки расплава

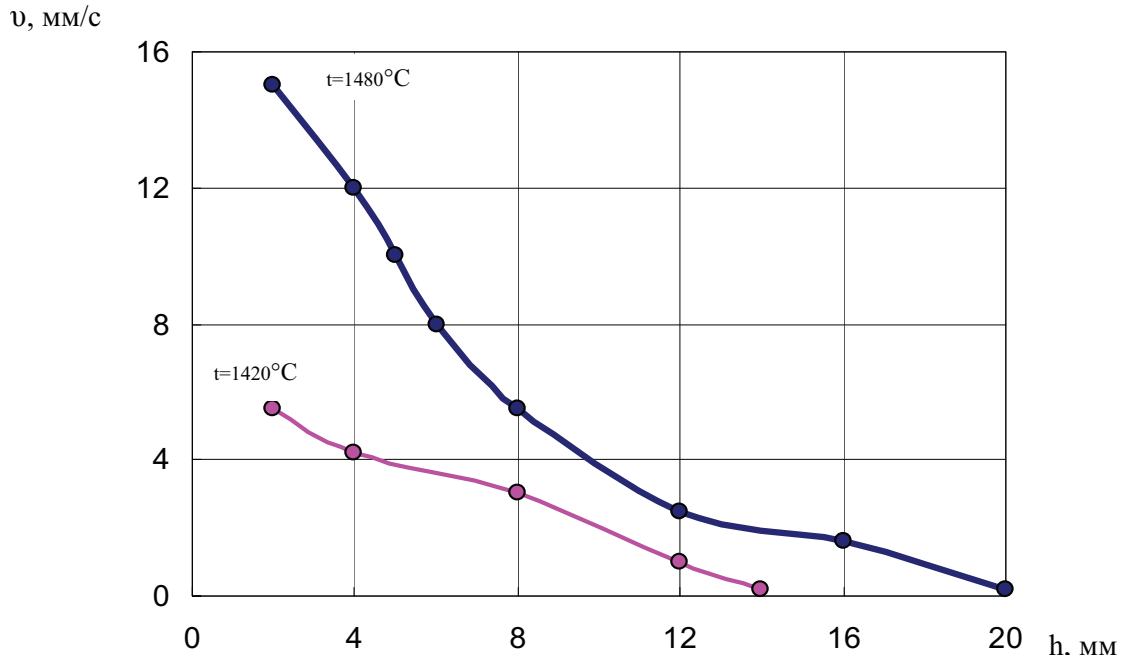


Рисунок 3 - Зависимость величины скорости пропитки и температуры заливаемого металла от глубины пропитанного слоя

По данным [5] процесс пропитки хорошо описывается уравнением:

$$L2 = \frac{\gamma^* \cos \theta^* r}{2h} * c \quad (2)$$

где L – глубина пропитанного слоя;

σ – поверхностное натяжение жидкости на границе с газом;

r – средний радиус капилляров;

h – коэффициент динамической вязкости жидкости;

c – длительность пропитки;

θ – угол смачивания.

Уравнение справедливо для изотермических процессов, например, в порошковой металлургии, когда расплавление связующего сплава происходит на самом пористом теле. В условиях пропитки в литейной форме процесс идет в эндотермических условиях. Поэтому в результате фильтрации движущая жидкость теряет тепло и температура её понижается. Вместе с изменением температуры изменяются и другие физические свойства связующего расплава. С уменьшением температуры расплава увеличивается его поверхностное натяжение, угол смачивания и коэффициент динамической вязкости.

На основании формулы (2) напишем выражение для скорости пропитки v :

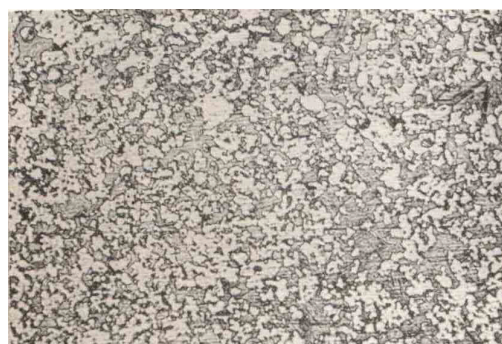
$$v = \frac{y^* \cos \theta^* r}{2h^* L} \quad (3)$$

Анализ показывает, что характер изменения скорости пропитки, по этой зависимости и полученный экспериментальным путем (рис. 2 и 3) одинаковый.

Были проведены металлографические исследования полученных образцов композитных сплавов состава TiCN – хромоникелевый чугун. Микроструктура композитного сплава на основе карбонитрида титана TiCN со связующим сплавом состава С - 3,44%; Cr – 0,5%; Ni – 1,4%; Si – 0,55%; Mn – 0,4% показана на рис.4. Видно, что графитные включения мелкие, в виде коротких пластин (рис. 4 а), структура состоит из мелких карбидов титана и мартенсита (рис.4 б).



а)х500



б)х500

Рисунок 4 - Микроструктура композитного сплава на основе карбонитрида титана



x10000

Рисунок 5 - Форма частиц нанопорошка карбонитрида титана



x500

Рисунок 6 - Микроструктура сплава с растворенным карбонитридом титана

Сравнение формы карбидов в композитном сплаве (рис.4б) и формы частиц в нанопорошке TiCN (рис.5), проведенном на электронном микроскопе, показывало, что карбонитрид титана при небольшом времени контакта с жидким расплавом (до 10с.), имеющем место при пропитке в литейной форме, практически не растворяется в металле-связке. Длительная же выдержка карбонитрида титана в контакте с жидким расплавом приводит к его растворению (рис.6).

Вывод

На основании проведенных исследований установлена кинетика образования композитного слоя на поверхности отливки, произведены замеры скорости фильтрации жидкого расплава в пористом слое легирующего вещества. Установлены зависимости глубины, времени и величины скорости пропитки от температуры заливаемого металла. Проведены металлографические исследования образцов композитных сплавов состава: TiCN – Cr – Ni чугуна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Термодинамика литейной формы /Вейник А.И.//Машиностроение, М.- 1968, № 1, С.79-144.
2. Взаимодействие железоуглеродистых расплавов с легирующими пастами / Соловьёв В.П., Михайлов А.М.// Черная металлургия – 1969, № 9, С.161-165.
3. Оборудование и технология получения ультрадисперсных модификаторов для обработки литейных расплавов /Калинин В.Т., Хрычиков В.Е., Кривошеев В.А. // Металлургическая и горнорудная промышленность – 2004, № 3, С. 48-51.
4. Теория и практика модифицирования чугуна ультра- и нанодисперсными материалами /Калинин В.Т., Хрычиков В.Е., Кривошеев В.А., Меняйло Е.В. // Металлургическая и горнорудная промышленность – 2010, № 5, С. 41-45.
5. Определение скорости проникновения оксидных расплавов в капиллярно-пористые материалы / Попель С.И.// Сб. «Поверхностные явления в расплавах и возникающих в них твердых фазах» - 1965, С.79-86.

Получено 09.10.2010г.