

УДК 621.745:669.35:537.811

А. А. Паренюк, В. А. Середенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов

НАН Украины, г. Киев

**ВЗАИМНАЯ ДИФFUЗИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРИ СПЛАВЛЕНИИ МЕДИ
С ЛИГАТУРОЙ FeCrC**

В качестве основы сплавов с высокими показателями тепло- и электропроводимости широко используется диамагнитная медь. Ряд медных сплавов относится к монотектической системе с зоной несмешивания в жидком состоянии Cu-Cr, Cu-Pb, Cu-FeC, Cu-FeCrC. Эти компоненты отличаются по многим свойствам (тепло- и электропроводимости, вязкости, магнитной проницаемости). Эти отличия существенно влияют на процесс приготовления сплавов заданных составов. Важное значение, при достижении равновесного состояния металлических систем, имеют диффузионные процессы. Анализ соотношения K_D коэффициентов взаимной молекулярной диффузии D компонентов (A - дисперсионная среда, B - дисперсная фаза) медных сплавов монотектической системы проведено на основе формулы Стокса-Эйнштейна:

$$K_D = D_{A-B} / D_{B-A} = \rho_A \cdot \nu_A \cdot r_B / (\rho_B \cdot \nu_B \cdot r_A) = K_\rho \cdot K_\nu \cdot K_r^{-1},$$

где D_{A-B} , D_{B-A} - коэффициенты молекулярной диффузии соответственно компонента A в B и B в A , $\text{м}^2/\text{с}$; ρ - плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$; ν - кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$; r - атомный радиус, м ; K_ρ , K_ν , K_r - симплексы (соотношения) соответственно плотностей, кинематических вязкостей, атомных радиусов компонентов A и B . Для многих сплавов на основе Cu с зоной несмешивания жидких фаз $K_r \approx 1$, а K_ρ отличается от 1 максимум на 40 %. С учетом этого соотношение K_ρ/K_r можно считать приближенно равным 1. В тоже время значение соотношение вязкостей компонентов K_ν в ряде случаев может быть больше 3. В таких случаях ведущее влияние на K_D оказывает K_ν . Медные сплавы монотектической системы выплавляют в индукционных тигельных печах (ИТП). Лигатура FeCrC парамагнитна, со значительно большим, чем у Cu электросопротивлением, многокомпонентна и характеризуется наличием карбидной эвтектики, температура плавления которой ниже на несколько десятков градусов

температуры плавления матрицы (зерна сорбитизированного перлита). При сплавлении Cu со сплавом на основе Fe с 16 % мас. Cr и 1,4 % мас. C в медной матрице растворяется только Fe и Cr [1]. При этом количество добавляемого к Cu сплава сильно сказывается на концентрации в медной матрице растворяющихся железа и хрома. При 2 % вводимой добавки содержание железа (0,5 % мас.) в 25 раз превышает концентрацию растворенного Cr, повышение вдвое количества вводимой добавки приводит к увеличению содержания железа в 2,5 раза, а количества хрома возрастает в 11 раз. В этом случае для диффузии Fe в Cu $K_r = 0,93$, $K_p = 1,14$, для Cr в Cu $K_r = 0,87$, $K_p = 1,26$. Проведенные эксперименты показали, что в процессе расплавления всей добавки легкоплавкая фаза отделяется от жидкого объёма матрицы ($K_v > 0,3$) и образует компактный жидкий объём имеющий значение $K_v < 0,3$. При эмульгировании расплава формируется двойная эмульсия: капли на основе расплавленных зерен сорбитизированного перлита и капли на основе карбидной эвтектики. Капли на основе эвтектики долго насыщаются Cu, что затягивает процесс получения эмульгированного сплава с однородными по составу включениями на основе лигатуры. Переменное электромагнитное поле в ИТП прямо не действует на коэффициенты молекулярной диффузии, но существенно влияет на эффективный коэффициент диффузии через турбулизацию расплава и возбуждение микроциркуляционных МГД-течений, примыкающих к неоднородностям электросопротивления и магнитной проницаемости (лигатуры) в медном расплаве. Установлено, что интенсивность массообмена под действием электромагнитной силы F_e при получении эмульгированного расплава в зоне проникновения электромагнитной волны существенно возрастает при $F_e > 1 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^3$. В объёме расплава массообмен ускоряется при переводе его в турбулентное состояние и минимальном размере твердой добавки.

Список литературы

1. Кириевский Б. А. Структура и свойства меди легированной хромистым чугуном / Б. А. Кириевский, Ю.В. Моисеев // Процессы литья. – 2016. – №2. – С. 64-71.