

Механізм евтектичного перетворення в подвійних сплавах системи Ag – Cu за різних умов охолодження

В. П. Горбатенко, доктор технічних наук, професор
К. Ю. Кушнерова

Донецький національний технічний університет, Донецьк

Досліджені особливості та основні закономірності механізму евтектичного перетворення в подвійних сплавах системи Ag – Cu (на прикладі срібного припою марки ПСр 50) за різних умов охолодження (лиття в тигель та безперервне лиття заготовок малого перетину).

При аналізі процесів евтектичної кристалізації звичайно розглядають три механізми: механізм утворення евтектичних колоній (тобто “нормальний” механізм), абнормальний механізм, механізм утворення грубого конгломерату [1]. Однак, як відомо, для білих чавунів з мінімальною концентрацією вуглецю встановлена можливість розвинення евтектичного перетворення з повним розділенням фаз. Як показали результати наших досліджень, які наведені нижче, механізм евтектичного перетворення з повним розділенням фаз може реалізуватися і в сплавах системи Cu – Ag.

Об’єктом наших досліджень є сплав ПСр50 системи Cu – Ag (50 % Ag + 50 % Cu) при мінімальному вмісті домішок. Сплав після розплавлення розливали за двома схемами: в алундовий тигель діаметром 20 мм, коли кристалізація відбувається в умовах відносно повільного охолодження та методом безперервного лиття в дріт діаметром 4 мм, коли має місце швидкісна кристалізація. Виконували порівняльний металографічний аналіз структури сплаву в залежності від швидкості кристалізації.

Діаграма стану сплавів системи Cu – Ag є достатньо простою діаграмою евтектичного типу. Вона характеризується близькими значеннями граничних розчинностей срібла у α -твердому розчині на основі міді (8 %) та міді у β -твердому розчині на основі срібла (9,8 %) при температурі евтектичної рівноваги (779 °C), а також суттєвим зменшенням цієї розчинності при охолодженні (до 0,5 % Ag в α -твердому розчині та до 0,1 % Cu в β -твердому розчині при кімнатній температурі) [2]. Досліджуваний сплав є доевтектичним. Його кристалізація відбувається у два етапи: на першому етапі має місце кристалізація α -твердого розчину з рідини, а на другому – евтектичне перетворення $L \rightarrow (\alpha + \beta)_{\text{евтектика}}$.

Із загального вигляду мікроструктури сплаву (рис. 1) помітно, що α -твердий розчин (темні ділянки) на першому етапі кристалізується у вигляді кристалів дендритної форми, ступінь дисперсності та розгалуження яких збільшуються при збільшенні швидкості охолодження.

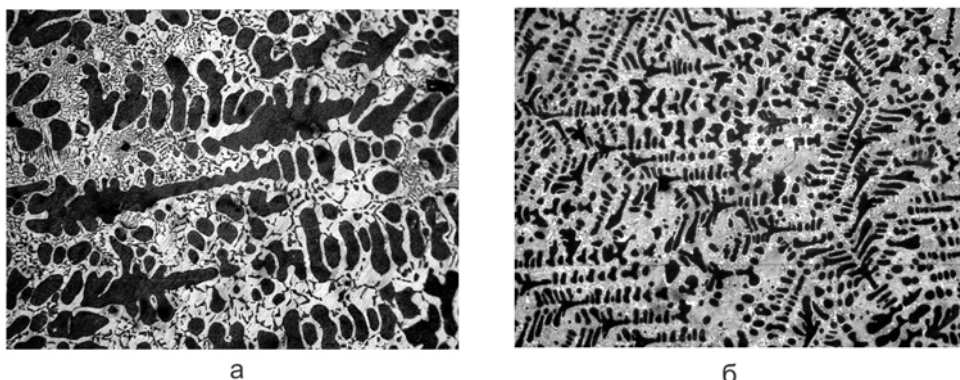


Рис. 1. Мікроструктура сплаву ПСр 50 після розливання у кокіль (а) та при безперервному литті (б). х 400.

Евтектичне ж перетворення у цьому сплаві має ряд специфічних особливостей, які раніше не обговорювалися у технічній літературі. Так, це перетворення у різних мікрооб'ємах сплаву може відбуватися за різними механізмами. Причому в разі невеликої відстані між гілками первинних дендритів евтектичне перетворення відбувається тільки за механізмом з повним розділенням фаз (рис. 1, 2). При цьому α -твердий розчин на початковій стадії евтектичного перетворення кристалізується на гілках первинних кристалів α -фази. Завдяки цьому рідина навколо них збагачується сріблом, що створює передумови для гетерогенного зародження кристалів β -твердого розчину (світлі ділянки), які утворюють суцільну оболонку навколо гілок α -фази (темні ділянки). За умови мінімальної відстані між гілками первинного α -твердого розчину отримана мікроструктура, що представляє собою кристали α -твердого розчину, які розділені світлими ділянками β -твердого розчину (рис. 2 а, в).

При деякому збільшенні товщини прошарку рідини між гілками дендритів α -твердого розчину спостерігається евтектичне перетворення з повним розділенням фаз ніби у два етапи: спочатку, як і в першому випадку, відбувається кристалізація евтектичного α -твердого розчину на первинних кристалах α -фази, потім кристалізація β -твердого розчину, у результаті якої залишки рідини збагачуються міддю, внаслідок чого на поверхні кристалів β -твердого розчину зароджуються і зростають нові кристали α -фази, які утворюють перервану або майже суцільну сітку навкруги кристалів β -твердого розчину (рис. 1 а, 2 а, б). Характер розташування та товщина прошарків таких кристалів α -твердого розчину на межах евтектичних виділень β -фази можуть свідчити на користь запропонованої теорії їх кристалізації з рідкої фази, а не виділення як надлишкової фази з пересиченого β -твердого розчину.

Збільшення товщини шару рідини зі складом, близьким до евтектичного, між гілками первинних кристалів α -твердого розчину приводить до ускладнення процесу евтектичного перетворення. При цьому, як правило, евтектичне перетворення на початковій стадії відбувається з повним розділенням фаз, а далі розвивається за двома механізмами:

1 – “хвилеподібне” перетворення з розділенням фаз, коли послідовно чергуються стадії кристалізації β - та α -твердих розчинів з рідини, в результаті чого формується специфічна евтектика з рядків кристалів α - та β -фази, які змінюють один одного (рис. 2 а, в);

2 – евтектичне перетворення з утворенням евтектичних колоній з кристалів α - та β -фази, що чергуються (рис. 2 б, г); у цьому випадку евтектичні колонії, як

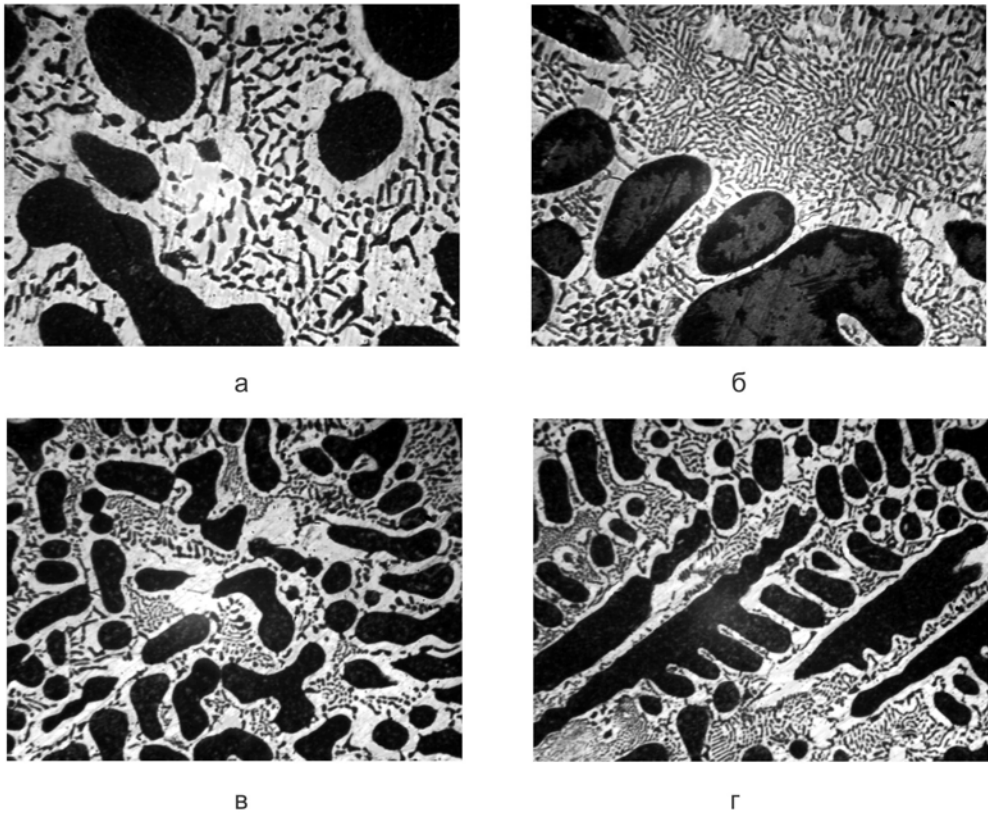


Рис. 2. Мікроструктура сплаву ПСр 50 у зонах з переважуючою реалізацією різних механізмів евтектичного перетворення після розливання в кокіль (а, б) та при безперервному литті (в, г). x 2000.

правило, зароджуються на кристалах α -твердого розчину срібла в міді, які утворилися на другій стадії евтектичної кристалізації з повним розділенням фаз; такий механізм має місце в разі найбільшого обсягу рідкої фази складу, близького до евтектичного.

Основними відмінностями у структурі сплаву та особливостях евтектичного перетворення в різних умовах охолодження є такі:

- забезпечення більш високого ступеня дисперсності структури сплаву в разі безперервного лиття заготовки; при цьому спостерігається як суттєве зменшення перерізу гілок первинних дендритів α -твердого розчину, так і диспергування евтектичної складової структури (рис. 1);

- зменшення товщини шару евтектичного β -твердого розчину навколо первинних кристалів α -фази в разі безперервного лиття заготовки (рис. 1, 2).

Слід зазначити, що в структурі сплаву, незалежно від швидкості кристалізації, у тому числі й у середині відносно великих ділянок евтектики, спостерігали утворення досить великих (5 – 20 мкм) окремих зерен β -твердого розчину міді в сріблі. Причому, при литті в тигель такі зерна були більшими за розмірами і зустрічалися частіше. Як правило, такі окремі зерна на границі розділу з евтектикою були оточені дрібними виділеннями α -твердого розчину.

При подальшому охолодженні сплаву після завершення кристалізації внаслідок дуже суттєвого зміння розчинності відповідних компонентів у β - та α -твердих розчинах відбувається розпад цих пересичених твердих розчинів з виділенням відповідних надлишкових фаз у середині вихідних кристалів.

Висновки На підставі досліджень структури сплаву ПСр 50 (50 % Ag + 50 % Cu) встановлена можливість реалізації у сплавах системи Cu – Ag евтектичного перетворення за механізмом повного розділення фаз.

В залежності від об'єму рідини між гілками дендритів первинних кристалів перед початком евтектичного перетворення це перетворення може здійснюватися лише за механізмом з повним розділенням фаз в разі відносно невеликого обсягу рідини евтектичного складу, а при збільшенні обсягу такої рідини за комбінованим механізмом: спочатку шляхом повного розділення фаз, а у подальшому шляхом утворення евтектичних колоній.

Збільшення швидкості охолодження при кристалізації сплаву приводить до подрібнення первинних кристалів та кристалів евтектики і до зменшення товщини прошарків евтектичного твердого розчину міді в сріблі навколо первинних кристалів твердого розчину срібла в міді.

Література

1. Эллиот Р. Управление эвтектическим затвердеванием. – М.: Металлургия, 1987. – 352 с.
2. Мутьлина И.Н. Художественное материаловедение. Ювелирные сплавы. – Владивосток: ДВГТУ, 2005. – 236 с.

Одержано 17.03.10

В. П. Горбатенко, Е. Ю. Кушнерова

Механизм эвтектического превращения в двойных сплавах системы Ag – Cu при различных условиях охлаждения

Резюме

Исследованы особенности и основные закономерности механизма эвтектического превращения в двойном сплаве системы Ag – Cu на примере припоя марки ПСр 50 при различных условиях охлаждения (литье в тигель и непрерывное литье заготовок малого сечения).

V. P. Gorbatenko, E. Yu. Kushnerova

Mechanism of eutectic transformation in binary alloys of Ag – Cu system in various cooling conditions

Summary

It has been investigated the peculiarities and main regularities of eutectic transformation mechanism in binary alloy of Ag – Cu system, ПСр 50 silver solder as an example, in various cooling conditions: in crucible and continuous casting of small section billets.