**Михаленков Костянтин Вікторович. Закономірності формування дрібнозернистої структури алюмінієвих сплавів, що містять дисперсні частки тугоплавких сполук: дис... д-ра техн. наук: 05.16.01 / НАН України; Інститут металофізики ім. Г.В.Курдюмова. - К., 2005**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Михаленков К. В. “**Закономірності формування дрібнозернистої структури алюмінієвих сплавів, що містять дисперсні частки тугоплавких сполук**”. Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.01 – металознавство та термічна обробка металів. – Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова Національної академії наук України, Київ, 2005 р.  Дисертацію присвячено встановленню закономірностей і механізмів формування зеренної структури алюмінію і його сплавів при затвердінні в присутності дисперсних часток тугоплавких сполук з метою визначення оптимальних типу і кількості уживаних добавок для формування рівновісної дрібнозернистої структури металу та способів їх введення в розплав. За джерело дисперсних часток правили дво- та трикомпонентні лігатури, що широко застосовуються промисловістю. За допомогою сучасних оптичних і електроних мікроскопів та аналізаторів з високою роздільною здатністю визначалися розміри литого зерна алюмінію і його сплавів в залежності від типу і кількості введеної лігатури, умов плавки і заливання, а також хімічний склад і морфологія зародкоутворюючих часток і прилеглих ділянок матриці. Встановлено, що найкращу зерноподрібнюючу дію в алюмінії і низьколегованих сплавах виявляють частки дібориду титану, що вводяться в розплав у складі лігатури AlTi5B1. У високолегованих сплавах призначених для деформування найкращий ефект спостерігається після введення лігатури AlTi2,2B1, а у випадку ливарних сплавів – після додавання AlB4. Експериментально показано існування проміжного шару товщиною біля 20 нм між частками дібориду титану і алюмінієвою матрицею на якому відбувається формування зародків твердої фази. З’ясовані переваги і недоліки застосування інших лігатур і додатків. Запропоновано варіант моделі формування кристалів a-Al в присутності в розплаві зародкоутворюючих часток, в якому враховано розподіл часток за розмірами. Обґрунтовано кількісний критерій зерноподрібнюючої дії тугоплавких часток в залежності від вмісту і типу легуючого елементу. На основі одержаних результатів розроблено науковий підхід до використання лігатур для зменшення розмірів литого зерна алюмінієвих сплавів, якій є універсальним як для ливарних сплавів, так і для сплавів для подальшого деформування. | |
| |  | | --- | | Дисертація присвячена встановленню закономірностей формування зеренної структури алюмінію і його сплавів при затвердінні в присутності дисперсних часток тугоплавких сполук з метою визначення оптимальних типу і кількості уживаних добавок та способів їх введення в розплав для одержання структури металу з найкращими споживчими характеристиками. На основі результатів комплексного дослідження наслідків кристалізації в присутності часток тугоплавких сполук, виконаного з використанням як оптичної мікроскопії, так і сучасних методів мікроскопії і аналізаторів з високою роздільною здатністю, у сполучені з критичним аналізом літературних даних з даної проблеми, зроблені наступні висновки:   1. Зменшення розмірів литого зерна алюмінію з доперитектичним вмістом титану, введеного в розплав у складі бінарної лігатури AlTi6, обумовлено зародкоутворюючою дією дисперсних часток карбіду титану, який утворюється завдяки присутності у лігатурі вуглецю, сконцентрованого переважно в кристалах Al3Ti. Частки TiC, що виникли при розчиненні Al3Ti, виявляються стійкими, якщо вміст Ti в розплаві перевищує 0,5 %. 2. При охолодженні алюмінію чи сплаву алюміній – кремній з вмістом Ti більш, ніж 0,15 %, із швидкістю 0,1 – 20,0 К/с зародкоутворення a-фази відбувається на частках тетрагональної форми, склад яких у випадку чистого Al точно відповідає стехіометричній сполуці Al3Ti, а у сплаві Al – Si – фазі на основі триалюмініду титану, яка вміщує розчинений кремній. 3. Здатність до зменшення розмірів литого зерна Al при використанні лігатур системи Al – Ti – B обумовлена присутністю в їх складі часток дибориду титану, більшість з яких відповідає стехіометричній сполуці TiB2 і має розмір 0,1 – 6,0 мкм. Кристалізація a-Al відбувається не безпосередньо на поверхні цих часток, а на проміжному шарі товщиною 15 – 20 нм, який повністю вкриває частки і містить лише Al і Ti. Аналіз його електронномікроскопичного зображення показав, що структура шару має ознаки аморфного стану. 4. При використанні лігатури Al – Ti – B лише незначна доля часток TiB2, що входять до її складу, виступає як центри кристалізації, а решта осідає в міждендритних ділянках і на границях зерен у вигляді конгломератів. Це явище знижує корисний вплив лігатури на формування дрібнозернистої структури і, крім того, заважає виготовленню особливо тонкостінних деталей та фольги. З цієї точки зору доцільніше використовувати лігатуру Al – Ti – C, додавання якої не веде до утворення в розплаві великих конгломератів. Застосування цієї лігатури вимагає жорсткого контролю температурних і часових умов плавки, що пов’язано з нестійкістю часток TiC в рідкому алюмінії. 5. В присутності часток – потенційних зародкоутворювачів легуючий елемент впливає на формування дрібнозернистої структури подвійним чином: через зміну швидкості росту кристалів твердої фази і їх морфології і через створення попереду фронту кристалізації зони концентраційного переохолодження (DTc). Частки, що потрапляють до цієї зони, дістаючи необхідне для зародження кристалів переохолодження, стають центрами кристалізації нових зерен. Останні, в свою чергу, утворюють навколо себе зону DTc, яка також містить зародкоутворюючі частки. Така послідовність подій забезпечує рух фронту зародкоутворення від стінок форми вглиб зливка. 6. Концентрація легуючих елементів в алюмінієвих сплавах, впливаючи на морфологію зростаючих зерен a-фази, визначає ефективність зародкоутворюючої дії тугоплавких часток. При кристалізації сплавів з низьким вмістом легуючих елементів кристали ростуть у формі листків, і дифузійна зона вкриває вершини дендритних гілок товстим шаром, сприяючи зменшенню швидкості росту твердої фази і залишаючи, внаслідок цього, більше часу для залучення у зародкоутворення нових часток. При високому вмісті легуючих компонентів дендритні гілки першого порядку мають гілчасту форму і, відповідно, малу товщину дифузійної зони на вершинах. Через це лише мала доля часток потрапляє в сприятливі для зародкоутворення умови. 7. Кількісно вплив легуючих елементів на формування дрібнозернистої структури алюмінію в присутності часток тугоплавких сполук може бути описаний фактором росту Q, який відображає швидкість утворення концентраційно-переохолодженної зони на початковій стадії кристалізації. Для ефективного і економічного зерноподрібнення алюмінієвих сплавів Q повинно бути в межах 10 - 20 К. Для сплавів з низьким вмістом легуючих компонентів (Q = 1 - 3 К) слід рекомендувати додаткове легування елементами з високим питомим значенням Q, наприклад титаном, щоб зберігаючи морфологію дендритів, збільшити абсолютну величину DTc і, таким чином, активізувати зародкоутворюючу дію більшої долі часток. У сплавах з високим вмістом легуючих елементів (Q = 40 - 60 К) через вузьку зону DTc формується хоч і рівновісна, але крупнозерниста структура. Тому використання для таких сплавів лігатур з надлишковим, відносно до стехіометричного складу, зародкоутворюючих часток, вмістом легуючих елементів недоцільно. 8. Вперше експериментально визначений розподіл часток дібориду титана за розміром в лігатурах Al – Ti – B виявився близьким до експоненціального. Врахування цієї обставини у запропонованому варіанті моделі формування зеренної структури алюмінію в присутності тугоплавких часток показало, що не усі частки TiB2 потрапляють у сприятливі для зародкоутворення умови, внаслідок чого коефіцієнт корисної дії лігатур Al–Ti–B ніколи не досягає 100%. 9. При введенні в Al або сплав Al – Si порошку нітриду і карбонітриду титана у суміші з гексафторцирконатом калію центрами кристалізації виступають частки фази на основі Al3Zr, яка містить деяку кількість розчиненого титану. Частки TiN або Ti(C,N) не виконують самостійної зародкоутворюючої функції. Досягнення середнього розміру зерна в межах 100 – 140 мкм за допомогою введення TiN (Ti(C,N)) потребує майже в 3 рази більшої добавки, ніж при ввдені AlTi5B1. До того ж засвоєння тугоплавких часток TiN або Ti(C,N) суттєво нижче за 100 %, що також знижує економічність їх використання для подрібнення зерен. Тому користуватися для подрібнення зерна алюмінію і його сплавів добавками TiN і Ti(C,N) недоцільно. 10. В доевтектичних сплавах Al – Si найвищу ефективність подрібнення зерна виявляє подвійна лігатура AlB4, механізм дії якої залежить від вмісту домішки титану у вихідному металі. В сплавах з вмістом Ti до 0,01 % утворення зародків твердої фази відбувається на поверхні часток дібориду алюмінію. Для сплавів з вмістом Ti більш, ніж 0,04 %, зародкоутворення відбувається при участі часток дібориду титана, що утворюються у розплаві внаслідок реакції введеного з лігатурою бору з титаном. Ці частки, як і частки TiB2, введені з потрійної лігатури Al – Ti – B, стійкі в алюмінієво – кремнієвому розплаві і зберігають здатність до зародкоутворення навіть після триразового переплаву металу.   Таким чином, в роботі розв'язано важливу науково - практичну задачу: встановлено закономірності формування зеренної структури алюмінію в присутності часток тугоплавких сполук, таких як TiB2, TiC, Al3Ti, Al3Zr, TiN і Ti(C,N) та обґрунтовано, яким чином присутність легуючих елементів та домішок впливає на кристалізацію алюмінію в дрібнозернистій формі. На основі одержаних результатів розроблено підхід до раціонального використання лігатур для зменшення розмірів литого зерна алюмінієвих сплавів і, за рахунок цього, формування високих споживчих властивостей останніх, якій є універсальним як для ливарних сплавів, так і для сплавів для подальшого деформування. | |