

Модифікування сплаву Al – Mn титаном і обробкою магнітним полем

В. І. Дубодєлов, академік НАН України
А. В. Косинська, кандидат технічних наук
В. О. Середенко, доктор технічних наук
О. В. Середенко, кандидат технічних наук

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

Визначено, що додавання доперитектичної кількості титану до сплаву Al – Mn доперитектичного складу сприяє збільшенню однорідності розподілу вкраплень інтерметалідів, а постійне магнітне поле, що діє на розплав під час заливання, підсилює цю тенденцію, завдяки перерозподілу енергії в потоці металу і вихрових утвореннях в рідкому сплаві. Встановлено, що при дії постійного магнітного поля на сплав, що твердне, відбувся перерозподіл компонентів між фазами, який збільшив кількість і розгалуженість вкраплень інтерметалідів.

Для модифікування литої структури сплавів алюмінію застосовуються як хімічні елементи і сполуки, так і різноманітні фізичні впливи на розплав, що охолоджується і твердне. Одним з ефективних модифікаторів сплавів алюмінію є титан. Вплив цього елемента на литу структуру проявляється в ефективному подрібненні зерен основи сплаву, що пов'язується з формуванням інтерметалідів (алюмінідів титану), які виконують функцію центрів кристалізації [1 – 3]. Разом з цим, на даний час не існує єдиної думки стосовно механізму впливу титану на структуру сплавів при його доперитектичній кількості (< 0,15 % по масі [4]). Згідно ГОСТ 1583-93 у сплави алюмінію додається 0,05 – 0,35 % по масі титану. Переважно використовуються сплави з концентрацією цього елемента $\geq 0,15$ % по масі. Дія постійного магнітного поля на литу структуру сплавів, у тому числі алюмінієвих, активно вивчається [5, 6]. При цьому виявлено, що характер впливу поля є складним і потребує подальшого дослідження. Встановлено значний вплив магнітних полів з індукцією В до 0,5 Тл на вкраплення інтерметалідів і відносно слабку його дію на величину зерна литого металу [7 – 9].

Метою даної роботи було дослідження впливу титану при його доперитектичній кількості на особливості литої структури сплаву алюміній – марганець доперитектичного складу і постійного магнітного поля, накладеного на розплав при його заливці, охолодженні і твердненні.

Зразки сплаву виготовляли з алюмінію технічної чистоти і лігатур алюміній – марганець, алюміній – титан в печі електроопору. Вміст

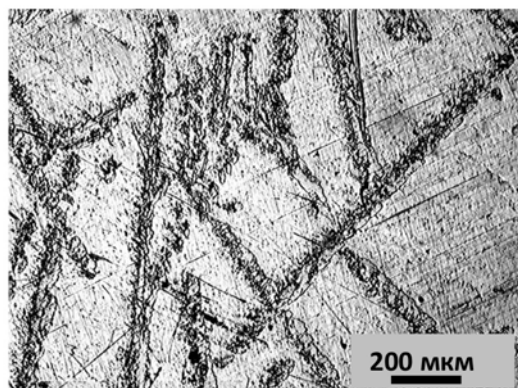
домішок (залізо, мідь, кремній, цинк) складав 0,03 % (по масі). Розплав витримували в печі при температурі 860 °С протягом 15 – 20 хв. Маса шихти складала 120 – 130 г. Після виплавки розплав розливали у дві графітові форми з температурою 18 – 20 °С, одну з яких розміщували в зазорі постійного магніту, де на метал здійснювали вплив горизонтального магнітного поля з індукцією 0,25 Тл. Зразки в іншій формі виготовляли без дії поля (контрольні). Отримані виливки з бінарного сплаву алюміній – марганець і потрійного алюміній – марганець – титан мали діаметр 25 і довжину 50 мм. Для металографічних досліджень, виконаних за допомогою мікроскопа Neophot, зразки розрізали на висоті 20 мм від їхнього дна паралельно силовим лініям магнітного поля. Загальний вміст марганцю і титану у сплавах визначався хімічним і спектральним аналізами, а в основі сплаву і вкрапленнях інтерметалідів – мікрорентгеноспектральним. Встановлено, що бінарний сплав містив 3,34 – 3,58 % (по масі) Mn, потрійний – 3,6 – 4,0 % (по масі) Mn і 0,09 – 0,11 % (по масі) Ti. Дію постійного магнітного поля на потік розплаву при заливці оцінювали за допомогою чисел Гартмана (Ha) і параметра магнітогідродинамічної взаємодії (N). Для оцінки впливу магнітного поля на вихровий характер руху розплаву було використано відношення чисел Гартмана і Рейнольдса (Ha / Re) [10].

Аналіз структури сплавів показав, що основа сплаву була представлена α -твердим розчином алюмінію, на фоні якого розташовані голчасті вкраплення інтерметалідів, що мали різні розміри і орієнтування. У бінарному і потрійному контрольних сплавах сформувалась груба структура. Вкраплення інтерметалідів утворювали групи з паралельно і вільно розташованих кристалів. Внаслідок дії титану розмір ділянок α -твердого розчину алюмінію, вільних від виділень інтерметалідів, скоротився в ~ 2 рази в порівнянні з бінарним сплавом (до ~ 200 мкм) завдяки більш рівномірному їх розподілу (рисунок а, б). При цьому середні розміри інтерметалідів не змінились і складали: довжина ~ 800, ширина 30 – 50 мкм. Спостерігали зміну в будові вкраплень інтерметалідів – в бінарному сплаві вони були однорідні і однаково забарвлені, в трикомпонентному містили розриви.

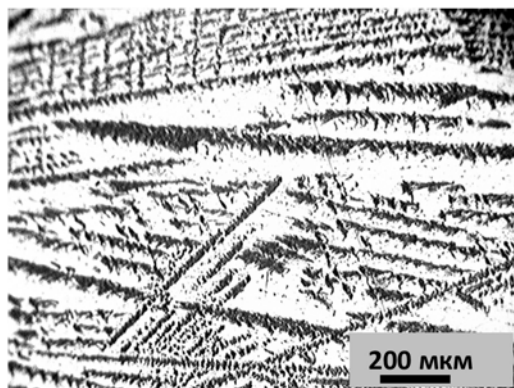
Вміст елементів в фазах контрольних і оброблених полем сплавів наведено в таблиці. З неї видно, що внаслідок введення до складу сплаву третього компонента зросла легованість α -твердого розчину алюмінію при майже однаковій кількості марганцю в сплавах. При додаванні титану до складу сплаву присутності алюмінідів титану в структурі не виявлено. У вкрапленнях інтерметалідів спостерігали збільшення неоднорідності розподілу алюмінію і марганцю, що проявилось у розширенні (в 2 рази) діапазону вмісту цих елементів в порівнянні з бінарним сплавом.

Розподіл титану також був нерівномірним – різниця між максимальним і мінімальним значенням його концентрації у вкрапленнях складала 7 разів. Вірогідно, така розбіжність у кількості титану в локальних зонах інтерметалідів пов'язана з тим, що при охолодженні сплаву формувались зародки вкраплень інтерметалідів, збагачені титаном, які виступали центрами кристалізації для сполук, насичених марганцем. Тому

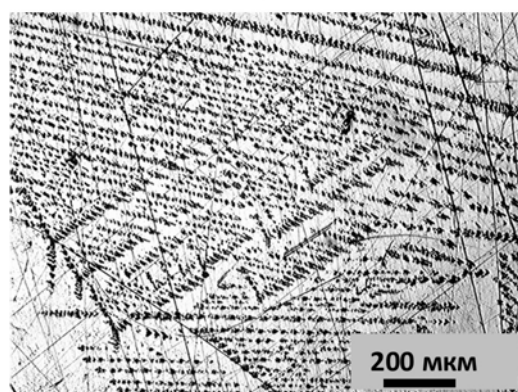
Плавлення і кристалізація



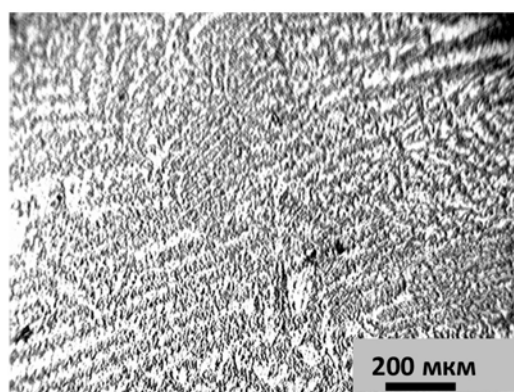
а



б



в



г

Мікроструктура сплавів Al – Mn (а, в) і Al – Mn – Ti (б, г). а, в – В = 0 Тл, б, г – В = 0,25 Тл.

Вміст компонентів в фазах сплавів Al – Mn і Al – Mn – Ti

Елемент	В = 0 Тл		В = 0,25 Тл	
	Al – Mn	Al – Mn – Ti	Al – Mn	Al – Mn – Ti
Основа сплавів				
Al	98,0 – 98,1	97,7 – 97,9	96,9 – 97,0	97,8 – 98,0
Mn	1,85 – 1,88	1,86 – 2,0	2,99 – 3,0	1,74 – 1,9
Ti	–	0,15 – 0,24	–	0,2 – 0,27
Вкраплення інтерметалідів				
Al	86,3 – 88,5	87,3 – 91,9	91,0 – 94,3	90,4 – 95,1
Mn	11,3 – 13,6	7,9 – 12,6	4,5 – 7,5	4,7 – 9,3
Ti	–	0,02 – 0,14	–	0,06 – 0,26

в структурі трикомпонентного сплаву спостерігали більш рівномірне розподілення вкраплень, ніж у двокомпонентному.

Накладання постійного магнітного поля на сплав Al – Mn привело до збільшення вмісту марганцю в α-твердому розчині алюмінію в 1,5 рази за рахунок зменшення його кількості у вкрапленнях інтерметалідів. На

відміну від цього сплаву у трикомпонентній системі концентрація розчинених елементів в основі сплаву практично не залежала від впливу магнітного поля на сплав (таблиця). У вкрапленнях інтерметалідів сплавів обох типів спостерігалось зменшення вмісту марганцю, вірогідно, внаслідок зростання їх кількості (рисунок). Під впливом поля звужився діапазон концентрації титану в локальних зонах інтерметалідів в порівнянні з контрольним металом – різниця між максимальним і мінімальним значеннями становила 4 рази. Це, вірогідно, викликано збільшенням кількості зародків інтерметалідних вкраплень, збагачених титаном.

Постійне магнітне поле, що діяло на сплав Al – Mn, привело до суттєвого зменшення ширини інтерметалідів (до 5 – 10 мкм), значного збільшення їх кількості та розгалуженості, але внаслідок нерівномірного розподілу цих вкраплень ділянки α -твердого розчину алюмінію, вільні від інтерметалідів, мали максимальний розмір такий як у контрольного металу ~ 400 мкм (рисунок а, в).

Дія магнітного поля на сплав Al – Mn – Ti підсилила тенденцію збільшення розгалуженості вкраплень і рівномірності їх розподілу. Це проявилось у скороченні до 4 разів розмірів максимальних ділянок α -твердого розчину алюмінію між вкрапленнями, утворенню замість голчастих форм інтерметалідів розгалужених кристалів різної товщини. Також виникли зони неупорядкованих інтерметалідів, які пронизували чисельні розриви (рисунок г). Під впливом магнітного поля у трикомпонентному сплаві однорідність розподілу титану в основі сплаву збільшилась, що виявилось у звуженні інтервалу його концентрації (таблиця). У вкрапленнях інтерметалідів при сумісній дії титану і поля підсилилась неоднорідність розподілу компонентів, що пов'язано з їх неоднорідною будовою. Внаслідок збільшення розгалуженості і кількості включень, що містять марганець і титан, кількість цих елементів в основі сплаву зменшилась (таблиця).

Таким чином, вплив титану на структуру сплаву Al – Mn проявляється у збільшенні однорідності розподілу інтерметалідів. Це, вірогідно, пов'язано з виникненням в об'ємі сплаву при твердненні рівномірно розподілених зародків інтерметалідних вкраплень, збагачених титаном, що підтверджується зростанням неоднорідності вмісту марганцю в інтерметалідах в порівнянні з контрольним сплавом. Під дією магнітного поля збільшилась кількість таких зародків, що викликало зростання числа вкраплень інтерметалідів. Такі зміни в структурі були спричинені значним силовим електромагнітним впливом на розплав, що рухався при заливці у форми – на початку і при кінці заливки значення чисел На змінювались у діапазоні 270 – 340, а N відповідно 1,3 – 2,3. Величини чисел подібності перевищували критичні ($Na > 25$, $N > 1$) і це визначило значний вплив магнітного поля на швидкість руху різних об'ємів розплаву (ефект Гартмана) [10]. Силова дія поля приводила до перерозподілу енергії в металі, що проявлялось у вирівнюванні швидкостей його об'ємів під час перемішування розплаву струменем в кокілі. В проведених експериментах розплав заливався у форми в турбулентному режимі і величина співвідношення Na/Re при заливці набувала значень 0,030 – 0,033. Згідно даними роботи [10] при

$Na/Re \geq 0,004$ в рідкому металі проявляється ефект пригнічення магнітним полем тримірних турбулентних вихорів з їх трансформацією у більш інтенсивні двомірні. Величина магнітного поля, застосована в даній роботі, забезпечувала перерозподіл енергії розплаву в масштабі турбулентних вихорів і перемішування металу на рівні турбулентних пульсацій.

Зміна форми і подрібнення інтерметалідів в магнітному полі та зміна складу фаз сплаву обумовлені перерозподілом компонентів в локальних зонах розплаву перш за все за рахунок вказаного вище перерозподілу енергії перемішування, що сприяло збільшенню інтерметалевих зародків під час його охолодження і тверднення. Також при формуванні інтерметаліду на фронті його кристалізації внаслідок переохолодження індукувався термострум (ефект Зеєбека). Цей електрострум взаємодіяв з накладеним на метал магнітним полем, в результаті чого виникала електромагнітна сила, яка рухала шар розплаву в локальній зоні, прилеглий до фронту кристалізації інтерметалідного вкраплення і чинила на неї тиск, який, ймовірно, призводив до виникнення розривів у кристалах і гальмування їх росту. Це співпадає з фактами руйнації в магнітному полі дендритів основи сплаву Al – Cu, що спрямовано кристалізувався [11], і розтріскування кристалів Al_4Ce у багатокомпонентному сплаві на базі системи Al – Ce при кристалізації в кокіль [9].

Таким чином, виявлено, що додавання до сплаву алюмінію з доперитектичним вмістом марганцю доперитектичної кількості титану, а також його обробка магнітним полем, чинять модифікуючу дію на литу структуру сплаву. Накладання постійного магнітного поля на сплав Al – Mn з добавкою титану підсилює ефект модифікування литої структури, що дозволяє використовувати меншу кількість титану у складі сплаву.

Література

1. Елагин В.И. Легирование деформируемых алюминиевых сплавов переходными металлами. – М.: Металлургия, 1975. – 248 с.
2. Мальцев М.В. // Литейн. пр-во. – 1956. – № 6. – С. 18 – 21.
3. Михаленков К.В., Лысенко С.И. // Процессы литья. – 2002. – № 1. – С. 34 – 42.
4. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов / Под ред. И. И. Новикова, И. Л. Рогельберга. – М.: Металлургиздат, 1962. – Т. 1. – 608 с.
5. Кольчугина И.Ю., Селянин И.Ф. // Литейн. пр-во. – 2009. – № 8. – С. 13 – 15.
6. Ren Z. // Journal of Iron and Steel Research International. – 2012. – № 19,1 – 1. – P. 18 – 24.
7. Дубоделов В.И., Середенко В.А., Косинская А.В. // Процессы литья. – 2014. – № 2. – С. 50 – 56.
8. Середенко О.В. // Металознавство та обробка металів. – 2014. – № 2. – С. 50 – 53.
9. Середенко Е.В., Дубоделов В.И., Хоружий В.Я. // Процессы литья. – 2014. – № 4. – С. 23 – 32.
10. Гельфгат Ю. М., Лиелаусис О.А., Щербинин Э.В. Жидкий металл под действием электромагнитных сил. – Рига: Зинатне, 1975. – 248 с.
11. Li X., Ren Z., Gagnoud A. // Journal of Iron and Steel Research International. – 2012. – 19, 1. – 1. – P. 9 – 18.

Одержано 19.05.15

В. И. Дубоделов, А. В. Косинская, В. А. Середенко, Е. В. Середенко

Модифицирование сплава Al – Mn титаном и обработкой магнитным полем

Резюме

Определено, что добавка доперитектического количества титана к сплаву Al – Mn доперитектического состава способствует увеличению однородности распределения включений, а постоянное магнитное поле, действующее на расплав при заливке, усиливает эту тенденцию благодаря перераспределению энергии в потоке металла и вихревых образованиях в жидком сплаве. Установлено, что при действии постоянного магнитного поля на затвердевающий сплав, произошло перераспределение компонентов между фазами, что увеличило количество и разветвлённость включений интерметаллидов.

V. I. Dubodelov, A. V. Kosynska, V. A. Seredenko, Ye.V. Seredenko

Modification of an Al – Mn alloy by Ti addition and magnetic field processing

Summary

It was established, that addition of Ti in its hypoperitectic quantity into the hypoperitectic Al – Mn alloy in results increasing homogeneous distribution of the intermetallic inclusions, and constant magnetic field acting on the melt during its casting enhanced above tendency by redistribution of energy in a melt flow and eddies in liquid metal. It was determined that under constant magnetic field action to the solidifying alloy the redistribution of components between phases takes place. That results in increasing quantity and branching of the intermetallic inclusions.

Шановні колеги!

**Триває передплата на науково-технічний журнал
«Металознавство та обробка металів» на 2016 р.**

Для регулярного одержання журналу потрібно перерахувати вартість заказаних номерів на розрахунковий рахунок Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України.
Вартість одного номера журналу – 40 грн., передплата на рік – 160 грн.

Ціна архівних номерів 1995 – 2014 рр. – 10 грн.

**Розрахунковий рахунок для передплатників,
спонсорів і рекламодавців:**

банк ГУДКСУ в м. Києві, р/р 31257201112215, код банку 820019.

Отримувач – ФТІМС НАН України, ЗКПО 05417153,

з посиланням на журнал "ММ".

Копію документа передплати та відомості про передплатника
просимо надсилати до редакції,
вказавши номер і дату платіжного документа.