

Таблица 2. Твердость по Виккерсу структурных составляющих, HV0,01, кгс/мм²

Содержание Cr, %	Перлит	Ледебурит	Цементит
0,45-0,57	274-285	439-446	–
0,93	274-285	439-455	–
1,4	314-330	–	882-920

хрома в чугуне (0,45-1,4 %) способствуют получению дисперсного перлита, стабилизируют структуру чугуна, обеспечивая удовлетворительную жаростойкость и ростоустойчивость.

Легирование чугуна хромом из расплава шлака достаточно эффективно и экономически выгодно, поскольку позволяет исключить использование феррохрома из технологического процесса получения отливок.



Список литературы

1. Бобро Ю. Г. Жаростойкие и ростоустойчивые чугуны. – М.: Машгиз, 1960. – 167с.
2. Александров Н. Н., Клочнев Н. И. Технология получения и свойства жаростойких чугунов. – М.: Машиностроение, 1964. – 169с.
3. Легирование чугуна хромом из оксидного расплава электросталеплавильного шлака / В. Н. Костяков, Н. В. Кирьякова, А. И. Мацкул и др. // Процессы литья. – 2010. – № 1. – С. 63-65.

Поступила 29.03.2012

УДК 669.715:538.65:536.421.4

**В. И. Дубоделов, В. А. Середенко, А. В. Косинская,
В. Я. Хоружий**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА АЛЮМОНИКЕЛЕВОГО СПЛАВА ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СОСТАВА, ЗАКРИСТАЛЛИЗОВАННОГО В ПОСТОЯННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Исследованы структура эвтектического сплава Al-Ni, влияние на нее постоянного однородного магнитного поля при кристаллизации расплава и изменения свойств полученных материалов.

Ключевые слова: сплавы Al-Ni, затвердевание, постоянное магнитное поле, структура, эвтектический состав.

Кристаллизация и структурообразование сплавов

Досліджено структуру евтектичного сплаву Al-Ni, вплив на неї постійного однорідного магнітного поля при кристалізації розплаву і зміну властивостей одержаних матеріалів.

Ключові слова: сплави Al-Ni, твердіння, постійне магнітне поле, структура, евтектичний склад.

The structure of the eutectic Al-Ni alloy, influence on it constant uniform magnetic field during crystallization of the melt and properties change of the obtained materials were investigated.

Keywords: Al-Ni alloys, solidification, constant magnetic field, structure, eutectic composition.

Одним из вариантов изготовления композиционных материалов на алюминиевой основе является метод жидкофазного реакционного синтеза (“in-situ” процесс), основанный на протекании экзотермических реакций между металлическим расплавом и реакционно активными добавками металлов. Образующиеся при этом кристаллы интерметаллидов обладают высокой термодинамической стабильностью и хорошей адгезией с матрицей. Получаемые реакционным способом композиты характеризуются лучшим (чем в “in-vitro” процессе) распределением и дисперсностью армирующих фаз [1, 2].

Литейные сплавы должны обладать достаточной жидкотекучестью для обеспечения качества получаемых отливок. Наилучшими литейными свойствами характеризуются составы с большим количеством эвтектической составляющей [3, 4]. Наиболее приемлемым представляется способ, связанный с формированием эвтектической структуры, сочетающей твердый раствор и вторую фазу, входящую в эвтектику, которая улучшала бы литейные показатели и не снижала бы механических свойств литого материала. Обобщение сведений, приведенных в литературе, показало, что наилучшие результаты в системе Al-Ni были получены при наличии в качестве второй фазы эвтектики соединения Al_3Ni [3-5].

Никель содержится в алюминиевых литейных сплавах (АК7М2, Ал1, Ал25 и другие) в виде легирующего элемента (0,8-3,6 %) и как примесь (0,2-0,3 %). Известен также алюминиевый сплав Ан-3, содержащий 2,7-3,3 % Ni, который нашел применение в подшипниках различных агрегатов [6]. Алюмоникелевые сплавы эвтектического состава в связи с большой прочностью на растяжение волокон интерметаллида Al_3Ni (до 2760 МПа), их значительной твердостью (до 770 HV) и высокой термической устойчивостью структуры рассматриваются как естественные композиционные материалы, на основе которых можно достичь повышенной прочности при термической стабильности литых изделий [4, 7, 8]. Поэтому создание новых композитов на базе литейных сплавов Al-Ni эвтектического состава является перспективным направлением.

Управлять структурой и кинетикой кристаллизации с целью получения материалов с улучшенными механическими свойствами представляется возможным при использовании магнитных полей. Известны результаты исследований по кристаллизации бинарной системы Al-Ni с 10 и 20 % Ni при воздействии поля от 1,0 до 1,5 Тл [9]. Влияние более сильных постоянных магнитных полей (порядка 10 Тл) изучали при кристаллизации заэвтектических сплавов 8-13 % Ni [10]. Было изучено также влияние слабых однородных постоянных магнитных полей, силовые линии которых направлены перпендикулярно гравитационной силе, на микроструктуру, формирующуюся при кристаллизации до- и заэвтектических алюмоникелевых сплавов [11].

Настоящие исследования посвящены изучению влияния скорости охлаждения на микроструктуру и свойства алюмоникелевого сплава эвтектического состава, кристаллизовавшегося в статических условиях при воздействии однородного постоянного магнитного поля индукцией 0,25 Тл. При проведении работы были

Кристаллизация и структурообразование сплавов

получены образцы, содержащие 5,6-5,8 % Ni. Компонентами для этого служили алюминий технической чистоты (А6) и электролитический никель (Н2). Сплавы готовили в печи электросопротивления с нихромовым нагревателем. После приготовления в печи и установления температуры, превышающей температуру солидуса на 150 °С, расплавы охлаждали на воздухе в поле постоянного магнита (силовые линии поля направлены горизонтально) с разной скоростью. Для обеспечения скорости охлаждения 1,3 °С/с готовили образцы массой 5-6 г, диаметром 15-16 мм и высотой 9-12 мм в алундовых тиглях, которые после приготовления расплава перемещали в межполюсное пространство магнита. Для более низкой скорости охлаждения (0,5-0,7 °С/с) образцы массой 75-80 г, диаметром 19-20 мм и высотой 85 мм формировали в специальной форме, изготовленной из плавнелитого фторфлогопитового материала, которую предварительно нагревали до 150-200 °С. Подготовленный расплав заливали в эту форму, установленную в межполюсное пространство магнита, где он кристаллизовался. Для сравнения в обоих опытах в идентичных условиях получали образцы, не подвергавшиеся воздействию магнитного поля. Структуру сплавов изучали в плоскости разреза параллельно силовым линиям магнитного поля. Использовали методы металлографического и микрорентгеноспектрального (РЭММА-102) анализов. Микротвердость структурных составляющих определяли с помощью прибора ПМТ-3. Триботехнические испытания образцов проводили на установке МТ-68 по пальчиковой схеме при трении скольжения по стальному (65Г) контртелу при скорости 0,2 м/с и нагрузке 5 кг с применением смазки.

Анализ структуры образцов, не подвергавшихся воздействию магнитного поля, показал, что она имеет отличия, связанные со скоростью охлаждения материалов. Сплавы, охлаждавшиеся при $V_{\text{охл}} = 0,5-0,7$ °С/с, имеют дендритное строение, представленное четко индивидуализированными дендритами α -твердого раствора алюминия, промежутки которых заполнены эвтектикой (Al) + Al_3Ni (рис. 1, а). Структура образцов, охлаждавшихся со скоростью 1,3 °С/с, представлена слабо индивидуализированными нечеткими дендритами α -твердого раствора алюминия и эвтектикой (рис. 1, б). Размер кристаллических образований в этих сплавах в 1,5-3,0 раза меньше, чем в материалах, полученных при более медленной кристаллизации, присутствуют образования Al_3Ni .

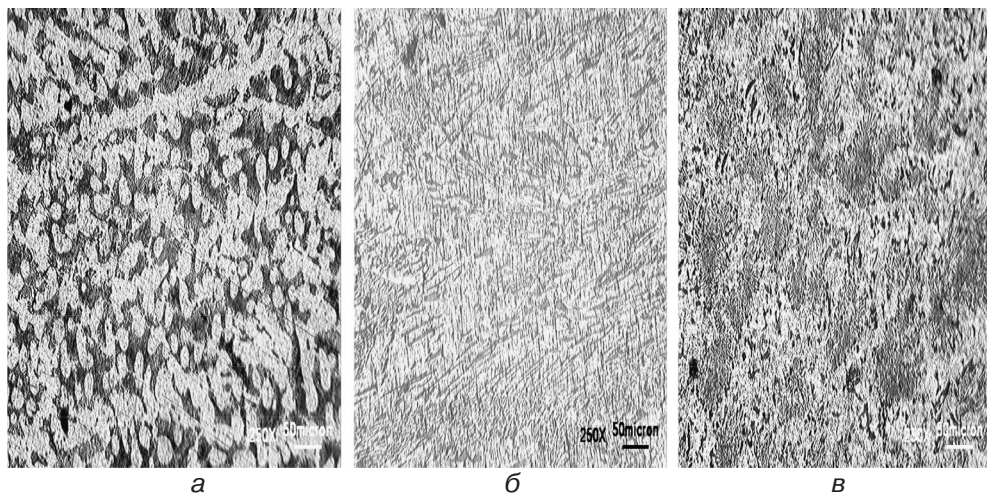


Рис. 1. Микроструктура сплавов, кристаллизовавшихся с различной скоростью охлаждения (а, б) вне действия магнитного поля, и вид эвтектики после воздействия магнитного поля индукцией 0,25 Тл (в): а – скорость охлаждения 0,5-0,7 °С/с; б, в – 1,3 °С/с

Таблица 1. Характеристики структуры и свойств исследованных сплавов

Номер образца	Скорость охлаждения, °С/с	Индукция магнитного поля, Тл	Размер кристаллических образований α -фазы, мкм	Микротвердость α -фазы, кг/мм ²	Количество эвтектики, %	Микротвердость эвтектики, кг/мм ²	Интенсивность изнашивания, мг/(км см ²)	Плотность, кг/м ³
68	1,3	0	от 100-150 до 1000	21,3	30-50	22,0	2,65	2730
70	1,3	0,25	от 500 до 1000	21,9	80-90	29,7	1,23	2720
6	0,5-0,7	0	от 300-500 до 1000-1500	20,0	30-40	28,6	2,47	2750
5	0,5-0,7	0,25	от 500 до 3500	20,2	50-60	29,0	1,91	2750

Образующиеся сплавы содержат практически одинаковое количество эвтектики. Но микротвердость ее в образцах при медленной кристаллизации несколько выше, чем у более быстро кристаллизовавшихся материалов. Микротвердость α -фазы имеет близкие значения. Полученные показатели находятся в пределах ошибки опыта. Плотность сравниваемых материалов практически одинаковая (табл. 1).

Влияние магнитного поля проявляется в виде изменения структуры, размера и морфологии фаз, содержания эвтектики в сплавах. В обоих случаях увеличивается размер кристаллических образований α -фазы. Возрастает количество эвтектики (табл. 1). В случае быстрого охлаждения это влияние проявляется более наглядно. Количество эвтектической составляющей структуры повышается в 1,8-2,5 раза при быстром охлаждении и в 1,5 раза – при более медленном (рис. 2). Возрастает ее микротвердость: на 26 и 2 % соответственно скорости охлаждения. В сплавах с более высокой скоростью охлаждения под воздействием магнитного поля изменяется вид эвтектики. (рис. 1, в). Металлографически установили, что в ней присутствует больше отдельных включений Al_3Ni . Из нитевидных кристаллов они увеличиваются в размере до 30-50 мкм и превращаются в кристаллические образования игольчатой и пластинчатой конфигураций (рис. 1, б, в; 3), характеризуются высокой микротвердостью ($H_{\mu} = 130-190$ кг/мм²), что в 6-8 раз превышает твердость α -фазы. Образующиеся включения содержат (ат.%): Al – 78-80; Ni – 19,4-21,3; Fe – 0,04-0,3. За счет формирования интерметаллидов данного состава уменьшается содержание никеля в эвтектике сплавов, подвергнутых воздействию магнитного поля. В наибольшей степени это проявляется в случае более высокой скорости кристаллизации расплавов (табл. 2). В результате формируется “in-situ” композит, в котором на фоне относительно мягкой матрицы (эвтектики) выделяются твердые армирующие включения (интерметаллиды состава Al_3Ni). Наблюдаемые структурные превращения влияют на показатели изнашивания образцов. Увеличение количества эвтектики и включений, происходящее в результате действия магнитного поля на кристаллизующийся расплав, способствует повышению износостойкости сплавов. В наибольшей степени это наблюдается при быстром охлаждении расплавов.

Таким образом, структурные показатели, определяющие свойства полученных материалов, связаны с особенностями их изготовления: скоростью охлаждения и кристаллизацией в условиях воздействия магнитного

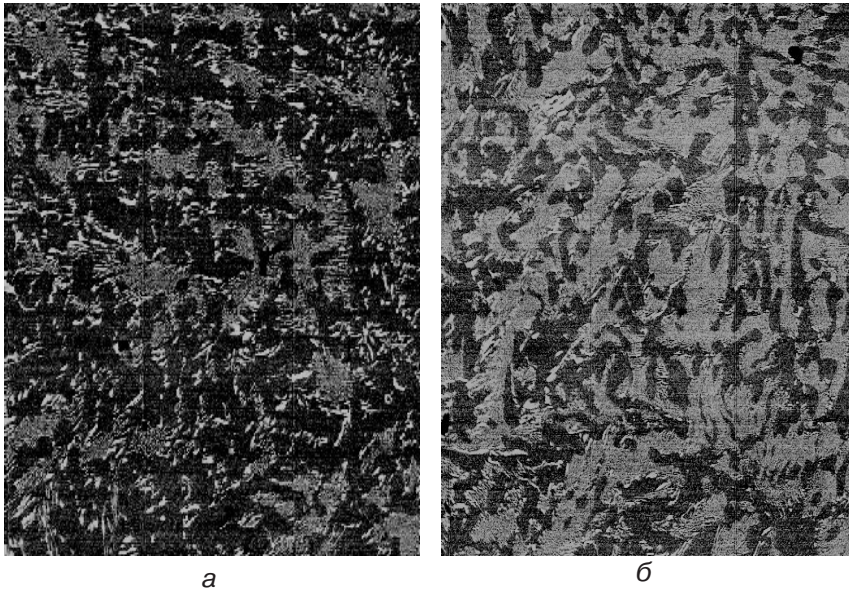


Рис. 2. Микроструктура сплавов (в отраженных электронах), кристаллизовавшихся со скоростью 0,5-0,7 °С/с вне действия магнитного поля (а) и при воздействии магнитного поля индукцией 0,25 Тл (б); черное – α-фаза, светлое – эвтектика, х250



Рис. 3. Включения Al_3Ni (режим отраженных электронов), х1000

поля. Магнитное поле, усиливая диффузию никеля в кристаллизующемся расплаве, способствует образованию интерметаллида типа Al_3Ni . Это приводит к увеличению количества эвтектики и отдельных включений. Интенсифицирует этот процесс более высокая скорость охлаждения сплава. Структура эвтектического характера с армирующими включениями, формирующаяся при этом, обеспечивает материалу хорошие показатели износостойкости. При более низкой (в 2 раза) скорости охлаждения преимущественно растут дендриты α-фазы. Количество эвтектики (как и интерметаллидных включений) в материале меньше. В идентичных условиях испытаний износ образцов выше. В результате можно констатировать, что достичь лучших показателей свойств, при одновременном формировании

Таблица 2. Состав структурных составляющих исследованных сплавов, охлаждавшихся с различной скоростью

Номер образца	Скорость охлаждения, °С/с	Индукция магнитного поля, Тл	Содержание элементов, %мас.					
			α-твердый раствор алюминия			эвтектика		
			Al	Fe	Ni	Al	Fe	Ni
68	1,3	0	99,49	0,08	0,43	88,28	0,04	11,68
70	1,3	0,25	99,58	-	0,42	93,12	0,05	6,83
6	0,5-0,7	0	99,63	-	0,37	90,45	-	9,55
5	0,5-0,7	0,25	99,55	-	0,45	90,19	-	9,81

композитов, можно в условиях воздействия магнитного поля на кристаллизующийся расплав при скорости его охлаждения более $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

Перспективы дальнейшего развития проведенных исследований предполагаются в изучении влияния повышенных скоростей охлаждения (до $50\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$) расплавов Al-Ni эвтектического состава в постоянном магнитном поле и уточнении эффективного диапазона его индукции.



Список литературы

1. Формирование структуры и свойств новых комбинированных алюмоматричных композиционных материалов, полученных с использованием "in-situ" процесса / А. В. Панфилов, А. А. Панфилов, Т. А. Чернышова и др. // Процессы литья. – 2004. – № 4. – С. 23-26.
2. Курганова Ю. А., Чернышова Т. А., Курганов С. В. Получение алюмоматричных дисперсно-упрочненных композиционных материалов // Металлургия машиностроения. – 2010. – № 2. – С. 38-40.
3. Белов Н. А., Золоторевский В. С. Литейные сплавы на основе алюминиевоникелевой эвтектики (никалины) как возможная альтернатива силуминам // Цв. металлы. – 2003. – № 2. – С. 99-105.
4. Баландин Г. Ф., Заболоцкий А. А. Перспективы литых композиционных материалов // Литейн. пр-во. – 1971. – № 3. – С. 4-7.
5. Белов Н. А., Золоторевский В. С., Тагиев Э. Э. Влияние алюминида никеля и силицида магния на структуру, механические и литейные свойства сплава Al-Zu-Mg-Cu // Металлы. – 1992. – № 1. – С. 146-151.
6. Шпагин А. И. Антифрикционные сплавы. – М.: Metallurgy, 1956. – 320 с.
7. Елагин В. И. Конструкционные наноструктурные сплавы на алюминиевой основе // Цв. металлы. – 2009. – № 6. – С. 103-111.
8. Влияние условий кристаллизации на свойства эвтектических композиционных сплавов на основе алюминия / Ю. С. Веселянский, Л. Л. Горушина, В. И. Захаров и др. // Литейн. пр-во. – 1973. – № 4. – С. 27-28.
9. Об управлении структурой кристаллизующихся металлов постоянным магнитным полем / М. Ю. Абрицка, В. Х. Витола, Я. Х. Карклинь и др. // Магнитная гидродинамика. – 1976. – № 3. – С. 119-124.
10. Структурообразование до- и заэвтектических сплавов Al-Ni при их затвердевании в постоянном однородном магнитном поле / В. И. Дубоделов, В. А. Середенко, С. С. Затуловский и др. // Процессы литья. – 2010. – № 6. – С. 45-53.
11. Li X., Ren Z., Deng K. Action of Hing Magnetic Fild on Crystalstructural Phase Al_3Ni of Al-Ni Alloys// Chin I. Nonferrous Metals. – 2006. – № 16, V. 3. – P. 476-481.

Поступила 02.03.2012