

ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ: ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИДКИХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

Мороз А. И.¹, Сидоров В. Е.²

¹ Уральский государственный педагогический университет

² Уральский государственный педагогический университет, Екатеринбург,

Россия,

nastmoroz97@yandex.ru, vesidor@mail.ru

Аннотация. В работе изучены теплофизические свойства сплавов Al-Ni-Co-РЗМ (РЗМ = Nd, Sm), которые обладают высокой стеклообразующей способностью. Плотность образцов исследована методом проникающего гамма-излучения, а их электросопротивление - бесконтактным методом во вращающемся магнитном поле. Измерения проведены в широком температурном интервале, охватывающем кристаллическое и жидкое состояния.

Ключевые слова: плотность, электросопротивление, сплавы, свойства, алюминий, алюминиевые сплавы

INNOVATION MATERIALS: INVESTIGATION OF Al-BASED LIQUID ALLOYS

Moroz A.I.¹, Sidorov V.E.²

¹Ural State Pedagogical University, Ekaterinburg, Russia

²Ural State Pedagogical University, Ekaterinburg, Russia

nastmoroz97@yandex.ru, vesidor@mail.ru

Abstract. In the work the termophysical properties of Al-Ni-Co-REM alloys (REM = Nd, Sm) characterizing by high glass-forming ability are studied. Density of the alloys was studied using absolute variant of gamma-absorption method; electrical resistivity was studied using contact-less method in rotating magnetic field. All The measurements were carried out in a wide temperature range including crystalline and liquid states.

Key words: density, electroresistivity, alloys, properties, aluminum, aluminum alloys.

Аморфные сплавы на основе алюминия, содержащие переходные (ПМ) и редкоземельные (РЗМ) металлы относятся к классу перспективных объектов

современного материаловедения. Обусловлено это наличием у данных сплавов уникальных свойств. Например, сплавы, содержащие в качестве переходного металла – никель, имеют отличные механические свойства, в частности, они характеризуются высоким показателем прочности на разрыв (до 1000 МПа) [1]. Наряду с этим, композиции, содержащие кобальт, демонстрируют высокую коррозионную стойкость [2].

Совокупность перечисленных выше свойств играет важную роль в современном технологическом производстве конструкционных и функциональных материалов, а исследование теплофизических свойств исходных сплавов позволит построить целостную картину формирования нанокристаллического состояния и раскрыть особенности взаимосвязи кристаллического, жидкого и аморфного состояний.

В нашей работе мы использовали абсолютный вариант метода проникающего гамма-излучения для измерения плотности, а также относительный бесконтактный метод во вращающемся магнитном поле для измерения электросопротивления. Все измерения проводились в атмосфере гелия марки «А».

В основе метода измерения плотности лежит закон ослабления узкого пучка гамма-излучения исследуемым поглотителем:

$$I = I_0 \exp(-\mu dl), \quad (1)$$

где I_0 и I – соответственно интенсивности пучка до и после прохождения исследуемого образца толщиной l , d – его плотность, а μ – массовый коэффициент ослабления пучка, зависящий от химического состава поглотителя и энергии используемых гамма-квантов [3-7].

Для исследования температурных зависимостей удельного электросопротивления большое распространение получил бесконтактный метод, сущность которого заключается в том, что образец на упругой нити помещён во вращающееся магнитное поле [8, 9].

Удельное электросопротивление относительным методом определяется по формуле:

$$\rho = \rho_0 \frac{\varphi}{\varphi_0} \left(\frac{I}{I_0}\right)^2 \left(\frac{V}{V_0}\right)^{5/3}, \quad (2)$$

где ρ – удельное электросопротивление, φ – угол поворота образца относительно положения равновесия, I – сила тока в катушках статора, создающего вращающееся магнитное поле и V – объём образца. Обозначения с нижним индексом «ноль» относятся к эталонному образцу (молибдену), без индекса – к исследуемому.

Результаты измерения плотности сплава $\text{Al}_{86}\text{Ni}_6\text{Co}_2\text{Nd}_6$ представлены на рисунке 1.

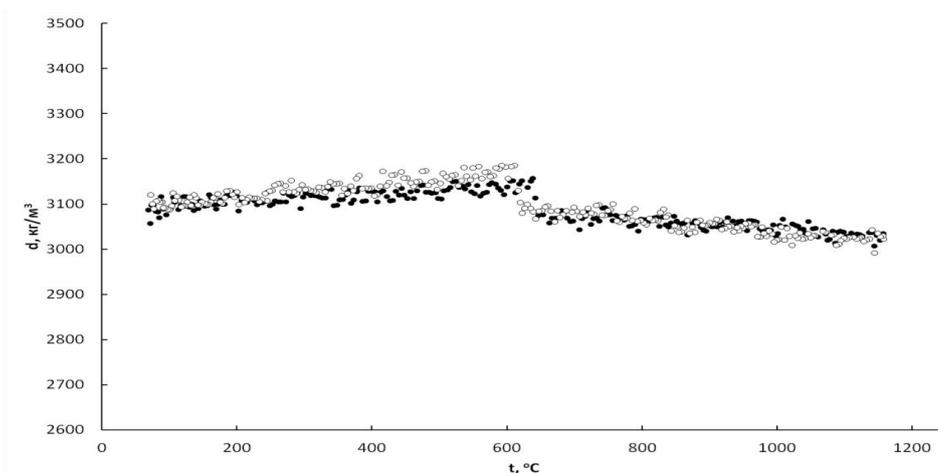


Рисунок 1 – Температурная зависимость плотности сплава $\text{Al}_{86}\text{Ni}_6\text{Co}_2\text{Nd}_6$.

В кристаллическом состоянии плотность сплава $\text{Al}_{86}\text{Ni}_6\text{Co}_2\text{Nd}_6$ имеет положительный температурный коэффициент, что нехарактерно для сплавов на основе алюминия. Скачек плотности при температуре солидус ($T_{\text{solid}} = 647 \text{ }^\circ\text{C}$) не превышает 3%, кроме того, после прохождения этой температуры температурный коэффициент изменяет свой знак. В процессе нагрева и охлаждения отсутствует гистерезис плотности (различие между кривой нагрева и охлаждения), что может свидетельствовать об отсутствии необратимых изменений в расплаве при нагреве даже до $1200 \text{ }^\circ\text{C}$. Значение плотности сплава при $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ составляет 3050 кг/м^3 .

В процессе нагрева в кристаллическом состоянии для сплава $\text{Al}_{86}\text{Ni}_6\text{Co}_2\text{Sm}_6$ значение плотности вплоть до точки солидус не изменяется (незначительное уменьшение при температуре $500 \text{ }^\circ\text{C}$ в пределах погрешности метода). Далее в двухфазной области значение плотности приобретает отрицательной температурный коэффициент, характерный для сплавов на основе алюминия. Данный сплав имеет довольно широкую двухфазную область: $T_{\text{solid}} = 654 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{\text{liq}} = 921 \text{ }^\circ\text{C}$. Отметим, что фазовые переходы не сопровождаются скачками на температурной зависимости в процессе нагрева. Наибольшее различие в ходе температурных зависимостей в процессе нагрева и охлаждения (гистерезис) было зафиксировано в двухфазной области. Кроме того, в кристаллическом состоянии также был зафиксирован гистерезис плотности, который составил около 3%.

Температурная зависимость электросопротивления для сплава $\text{Al}_{86}\text{Ni}_6\text{Co}_2\text{Sm}_6$ представлена на рисунке 2.

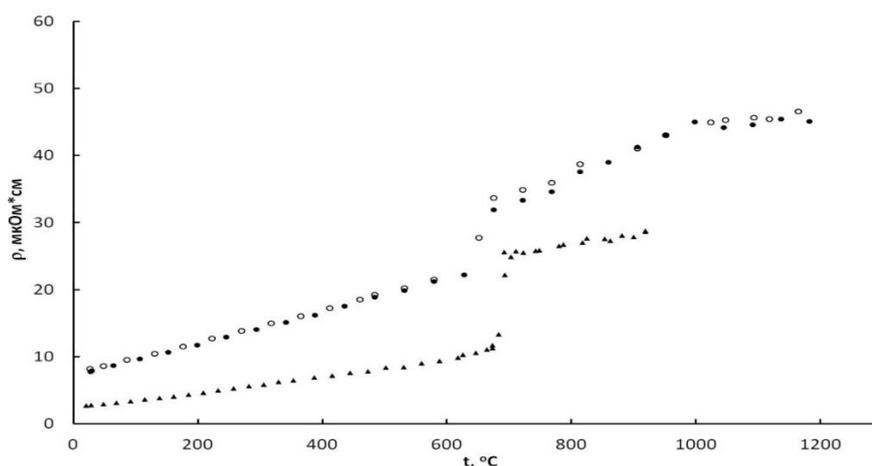


Рисунок 2 – Температурная зависимость электросопротивления сплава $Al_{86}Ni_6Co_2Sm_6$ по сравнению с Al (● - нагрев, ○ - охлаждение, ▲ – чистый алюминий).

В твердом состоянии электросопротивление линейно увеличивается от 9 мкОм*см до 22 мкОм*см. На графике видны точки фазового перехода из твердого в двухфазное состояние, а также из двухфазного состояния в жидкое.

Анализируя полученные данные для всех изученных сплавов, можно сделать вывод о том, что изменение соотношения 3d-переходных металлов (4%Ni+4%Co или 6%Ni+2%Co) и типа РЗМ оказывает существенное влияние на теплофизические свойства сплавов, а значит, появляется возможность подобрать состав, обладающий как повышенными значениями механических свойств, так и высокой коррозионной стойкостью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Inoue, A., Ohtera, K., Tsai, A.P., Masumoto, T. Aluminum-based Amorphous Alloys With Tensile Strength Above 980 MPa (100kg/mm²) // Jpn.J.Appl.Phys. 1988. V.27. L479–L482.
2. Li, C.L., Wang, P., Sun, S.Q., Voisey, K.T., McCartney, D.G. Corrosion Behaviour of Al_{86.0}Co_{7.6}Ce_{6.4} Glass Forming Alloy With Different Microstructures // App. Surf. Sci. 2016. V.384. P. 116-124.
3. Арсентьев, П.П., Коледов, Л.А. Металлические расплавы и их свойства. М. Металлургия, 1976 г.
4. Арцыбашев, В. А. Гамма-метод измерения плотности. – М.: Атомиздат, 1965. 203 с.
5. Бабичев, А.П., Бабушкина, Н.А., Браткова, А.М. и др. Физические величины. // Справочник. Под. ред. Григорьева И.С., Мейлихова Е.З. М.: Энергоатомиздат. 1991. 256 с.

6. Багласова, Е.С., Русанов, Б.А. Фундаментальные исследования как способ развития инженерного мышления студентов // Формирование инженерного мышления в процессе обучения / Урал.гос.пед.ун-т; 2015. 284 с.
7. Баландин, Г.Ф. Формирование кристаллического строения отливок. – М.: Машиностроение, 1973. 287 с.
8. Баум, Б.А. Металлические жидкости – проблемы и гипотезы. М.: наука, 1979, 120 с.
9. Станкус, С.В., Хайрулин, Р.А., Мозговой, А.Г., Рощупкин, В.В., Покрасин, М.А. Плотность жидкого сплава Pb-Bi эвтектического состава при температурах до 700 К // ТВТ. 2004. №42 (6). с.982-985.