

УДК 538.9

А.В. Демидчик

канд. физ.-мат. наук, доц., зав. каф. общей и теоретической физики
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина
e-mail: otf@brsu.brest.by

ВЛИЯНИЕ СВЕРХБЫСТРОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ В ЖЕЛЕЗНИКЕЛЕВЫХ СПЛАВАХ ПЕРМАЛЛОЕВОГО СОСТАВА

С помощью растровой электронной микроскопии проведено исследование распределения железа и никеля в фольгах быстрозатвердевших сплавов пермаллового состава, полученных двухсторонним охлаждением. Установлено однородное распределение компонентов как по обеим поверхностям фольги, так и внутри её. Термическая обработка фольг при температурах 50 °С и 100 °С не оказывает заметного влияния на распределение компонент.

Введение

Тонкие железоникелевые сплавы широко распространены в электронике [1; 2]. Высокие температуры плавления (свыше 1 000 °С) способствуют «неуязвимости» сплавов по отношению к температурному воздействию в достаточно широком интервале. Потребности в материалах с заранее заданными физико-техническими свойствами увеличиваются. Устанавливаются пути повышения характеристик сплавов путём целенаправленного формирования их структуры. Исследования проводятся как над сплавами, полученными традиционными способами (малые скорости охлаждения жидкой фазы), так и путем сверхбыстрой закалки (скорость охлаждения жидкой фазы порядка 10^6 К/с). Высокоскоростное затвердевание расплава позволяет получать высокопрочные материалы с хорошей антикоррозионной стойкостью [3–6]. Одно из требований, предъявляемых к современным материалам, – однородность распределения компонентов в сплаве. Сверхбыстрое охлаждение по-разному влияет на указанное распределение [7].

Цель настоящей работы – исследовать распределение компонентов в железоникелевой фольге, ограничившись рассмотрением сплавов с повышенным содержанием никеля (70...80 ат. %), что было предпринято ранее в работах [7–8] для узкого интервала (65...68 ат. % Ni).

Методика получения и измерения

Объекты исследования – фольги железоникелевых сплавов с содержанием никеля 70...80 ат. %, полученные двухсторонним охлаждением – двухвалковым методом. Достоинства данного метода – непрерывность технологического процесса и получение материала с зеркальными (гладкими) обеими поверхностями, что в будущем позволяет сделать предположение об одинаковости на них физико-механических параметров и характеристик. Толщина фольг 10...30 мкм.

Исследование структуры фольг проводилось на растровом электронном микроскопе, микроанализ – при помощи рентгеновского микроанализатора. Исследование морфологии поверхности сплавов осуществлялось с обеих сторон фольги. Компонентный анализ по глубине осуществлялся на изломе фольги.

Термическая обработка проводилась при температурах 50 °С и 100 °С следующим образом: образцы помещались в печь, нагревались вместе с ней до необходимой температуры, отжигались 15 мин. при этой температуре. Затем печь выключалась, и образцы охлаждались вместе с ней до комнатной температуры. После этого проводилось исследование сплавов.

Результаты. Морфология поверхности исходных образцов

Быстрозатвердевшие фольги исследуемых сплавов имеют с обеих сторон гладкую поверхность. На ней могут присутствовать впадины (рисунок 1), образование которых объясняется наличием воздуха, попавшего между диском-кристаллизатором и расплавом, что, несомненно, приводит к нежелательному уменьшению скорости затвердевания жидкой фазы, а также локализованные черные скопления в виде грязи из-за недостаточно качественной полировки (обработки) вращающегося кристаллизатора, которые также могут оказать существенное влияние на обработку экспериментальных данных. Образцы с подобного рода дефектами исключались из рассмотрения, и исследования с ними не проводились.

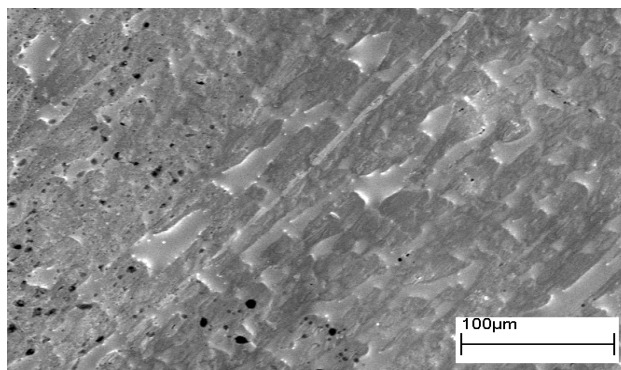


Рисунок 1. – Поверхность фольги сплава Fe₂₈Ni₇₀Si₂

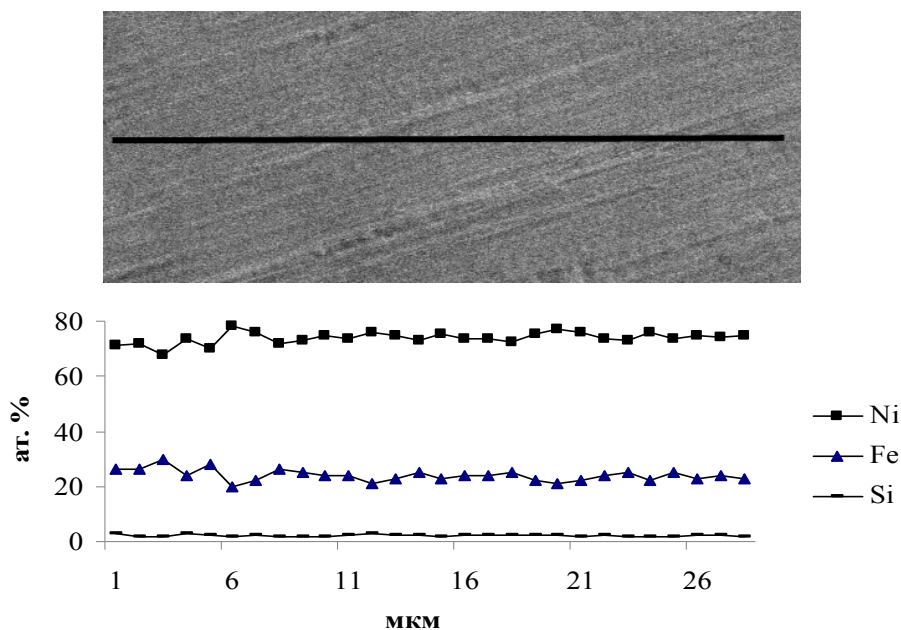


Рисунок 2. – Линия сканирования по поверхности фольги Fe₂₄Ni₇₄Si₂ и распределение компонентов вдоль этой линии

Результаты. Химический состав и распределение компонентов исходных образцов

На рисунке 2 представлены результаты сканирования покомпонентного химического состава по линии на поверхности образца. Линия сканирования выбиралась произвольным образом: как по ходу течения расплава и последующего его охлаждения, так и поперек или под произвольным углом. Анализ показал, что все подвергнутые исследованию образцы имеют химический состав, соответствующий заданному.

дованию составы имеют однородное распределение компонентов. При этом указанный вывод справедлив для обеих поверхностей фольги.

Помимо поверхностного распределения компонентов ставился вопрос о распределении компонентов по глубине фольги. Для этого производился излом образца и изучалось его поперечное сечение. Важно отметить, что если поперечное сечение фольги получено срезом, то результаты могут быть недостоверными, так как в процессе среза режущий предмет (например, лезвие) может загнуть верхние слои фольги и прикрыть ими внутренние, как показано на рисунке 3.

Результаты анализа распределения компонентов по глубине для сплава $\text{Fe}_{26}\text{Ni}_{72}\text{Si}_2$ представлены в таблице 1 (вместе с рисунком 4), для сплавов $\text{Fe}_{22}\text{Ni}_{77}\text{Si}_1$, $\text{Fe}_{24}\text{Ni}_{74}\text{Si}_2$, $\text{Fe}_{28}\text{Ni}_{71}\text{Si}_1$ – в таблице 2 (для пяти разных точек на изломе).

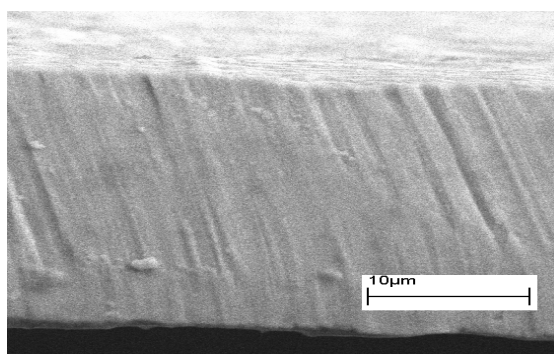


Рисунок 3. – Поперечное сечение (срез) фольги сплава $\text{Fe}_{26}\text{Ni}_{72}\text{Si}_2$

Таблица 1. – Распределение компонентов по глубине фольги сплава $\text{Fe}_{26}\text{Ni}_{72}\text{Si}_2$ (нумерация точек внутри фольги соответствует рисунку 4)

Точка	Процентное содержание элемента, ат. %	
	Fe	Ni
1	27,4	72,4
2	23,9	74,2
3	27,3	71,9
4	26,2	71,8
5	27,3	71,1
6	29,1	70,4
7	27,7	70,3
8	26,3	71,9
9	29,4	70,5
10	25,8	72,9
11	24,2	73,8
12	22,8	75,3
13	27,2	71,8

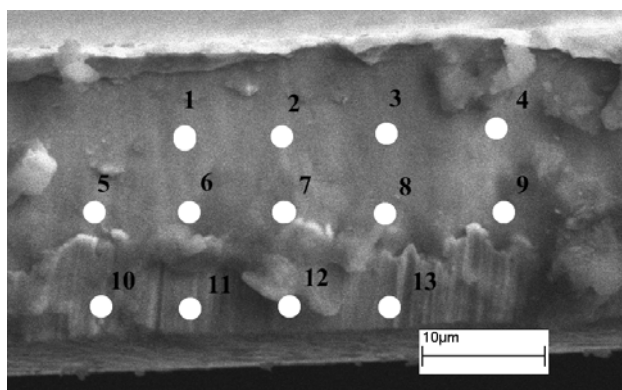


Рисунок 4. – Поперечное сечение (излом) фольги сплава Fe₂₆Ni₇₂Si₂ (на фотографии отмечены исследуемые точки)

Таблица 2. – Распределение компонентов по глубине исходных фольг

Сплав	Процентное содержание Fe/Ni на изломе, ат. %				
Fe ₂₂ Ni ₇₇ Si ₁	21,4/77,4	21,9/77,2	22,3/76,9	21,2/78,6	24,5/75,1
Fe ₂₄ Ni ₇₄ Si ₂	25,4/74,4	23,9/75,3	24,3/75,1	23,2/75,6	23,5/76,1
Fe ₂₈ Ni ₇₁ Si ₁	28,3/71,4	26,8/72,3	27,2/72,1	27,8/71,8	29,1/70,6

Наличие на поверхности фольги однородно распределённого кремния, возможно, объясняется тем, что диски-кристаллизаторы перед осуществлением процесса закалки расплава обрабатывались абразивным материалом, который и внес свой «вклад» в итоговое распределение компонентов.

На изломе фольги концентрация кремния была зафиксирована в пределах статистической погрешности (в таблице 1 не указывалась).

Результаты. Химический состав и распределение компонентов образцов, подвергнутых термической обработке

Исследуемые сплавы в виде тонких лент (фольг) находят применение, в частности в акустомагнитных датчиках или иных технических устройствах (индикаторах, детекторах и т.п.). Работа этих устройств может быть связана с перепадом температур. В данной работе температуры отжига были выбраны «бытовые», для создания которых не требуется специальных условий или высокотемпературных термошкафов.

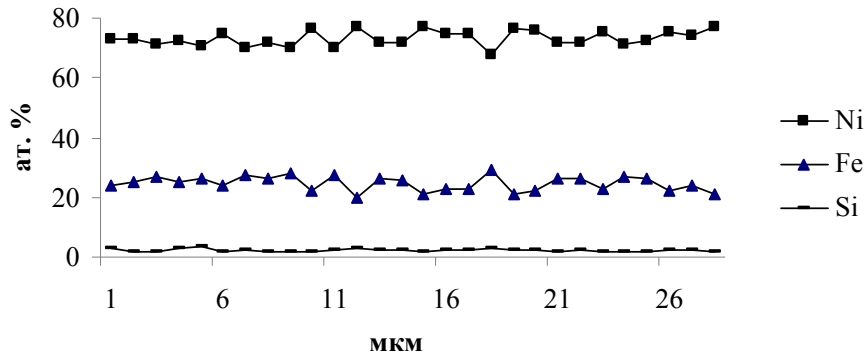
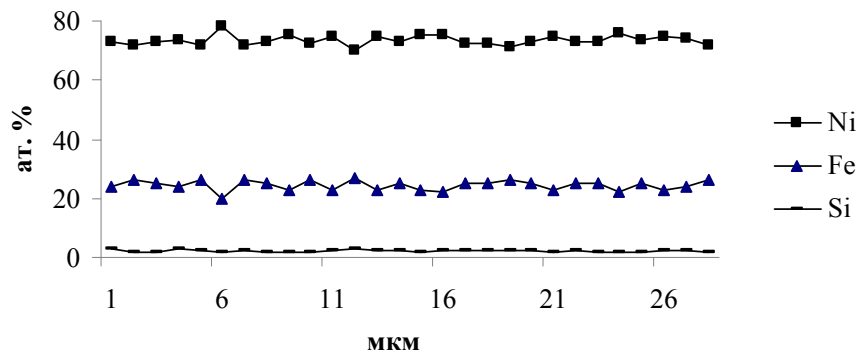
Результаты анализа распределения компонентов по глубине для сплавов Fe₂₂Ni₇₇Si₁, Fe₂₄Ni₇₄Si₂, Fe₂₈Ni₇₁Si₁ представлены в таблицах 3 и 4 (для пяти разных точек на изломе). Различие в концентрациях элементов между таблицами вызвано тем, что сканированию каждый раз подвергались разные точки излома фольги, так как зафиксировать одну точку на изломе и проводить исследования в ней не представляется возможным.

Таблица 3. – Распределение компонентов по глубине фольг, подвергнутых термообработке при 50 °С

Сплав	Процентное содержание Fe/Ni на изломе, ат. %				
Fe ₂₂ Ni ₇₇ Si ₁	21,6/77,5	21,8/77,4	22,4/77,0	21,9/77,3	22,6/76,6
Fe ₂₄ Ni ₇₄ Si ₂	23,2/75,9	23,0/76,3	24,4/74,7	24,1/74,6	24,5/74,9
Fe ₂₈ Ni ₇₁ Si ₁	28,2/70,6	27,6/71,2	28,8/69,7	27,2/71,5	28,5/70,3

Таблица 4. – Распределение компонентов по глубине фольг, подвергнутых термообработке при 100 °С

Сплав	Процентное содержание Fe/Ni на изломе, ат. %				
Fe ₂₂ Ni ₇₇ Si ₁	21,3/77,9	21,7/77,4	22,4/76,3	22,8/76,4	22,6/76,1
Fe ₂₄ Ni ₇₄ Si ₂	23,9/74,9	24,9/74,3	24,6/73,7	24,7/73,9	23,5/74,9
Fe ₂₈ Ni ₇₁ Si ₁	28,6/70,1	28,5/70,0	26,9/71,5	27,6/71,2	27,2/70,8

Рисунок 5. – Распределение компонентов по поверхности фольги Fe₂₄Ni₇₄Si₂, подвергнутой термообработке при 50 °СРисунок 6. – Распределение компонентов по поверхности фольги Fe₂₄Ni₇₄Si₂, подвергнутой термообработке при 100 °С

Как видно из рисунков 5 и 6, на которых представлены результаты сканирования химического состава вдоль линии поверхности фольги Fe₂₄Ni₇₄Si₂, подвергнутой термообработке, однородное распределение компонентов сохраняется в исследуемом интервале температур.

Выводы

Таким образом, полученные сверхбыстрым двухсторонним охлаждением фольги железоникелевых сплавов с содержанием никеля 70...80 ат. % имеют химически однородное по всему объему распределение компонентов.

Отжиг фольг указанного состава при температурах 50 °С и 100 °С сохраняет однородное распределение.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ульянов, Е. А. Высоколегированные сплавы на основе железа и никеля / Е. А. Ульянов, Т. В. Свистунова. – М. : Металлургия, 1986. – 350 с.
2. Твердотельный синтез железоникелевых плёнок пермаллового и инварного составов / В. С. Жигалов [и др.] // Вестн. Краснояр. гос. ун-та. Сер. физ.-мат. наук. – 2005. – № 4. – С. 54–62.
3. Мирошниченко, И. С. Закалка из жидкого состояния / И. С. Мирошниченко. – М. : Металлургия, 1982. – 168 с.
4. Герман, Г. Сверхбыстрая закалка жидких сплавов / Г. Герман. – М. : Металлургия, 1986. – 375 с.
5. Высокоскоростное затвердевание расплава / В. А. Васильев [и др.] ; под науч. ред. Б. С. Митина. – М. : Интернет Инжиниринг, 1998. – 400 с.
6. Глазов, В. М. Получение полупроводниковых материалов методом сверхбыстрого охлаждения расплава / В. М. Глазов // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. – 1984. – Т. 20, № 7. – С. 1238–1243.
7. Демидчик, А. В. Структура и микротвердость железоникелевых сплавов, полученных высокоскоростным затвердеванием / А. В. Демидчик // Вестн. Брэсц. ун-та. Сер. прыродазн. навук. – 2007. – № 1. – С. 46–50.
8. Демидчик, А. В. Термическая стабильность структуры и микротвердости тонких фольг железоникелевых сплавов / А. В. Демидчик // Вестн. Брэсц. ун-та. Сер. прыродазн. навук. – 2008. – № 1. – С. 42–49.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 02.05.2018

Demidchik A.V. The Influence of Ultra-Fast Cooling on the Distribution of Components in Permalloy Iron-Nickel Alloys

With the help of scanning electron microscopy, a study was made of the distribution of iron and nickel in foils of fast-solid alloys of permalloy composition, obtained by double-sided cooling. A uniform distribution of components is established both on both foil surfaces and inside it. Thermal treatment of foils at temperatures of 50 °C and 100 °C does not have a significant effect on the distribution of components.