

УДК 537.9+544.032.4

МИКРОСТРУКТУРА И МАГНИТНАЯ ДОМЕННАЯ СТРУКТУРА СПЛАВА Co_3V

**О.В. Жданова, М.Б. Ляхова, Е.М. Семенова, Д.Ю. Карпенков,
А.Ю. Карпенков**

¹Тверской государственный университет
Кафедра магнетизма

Синтезирован крупнозернистый сплав, основной фазой которого является орторомбическое ферромагнитное соединение Co_3V . Методами оптической и электронной микроскопии исследована микроструктура и магнитная доменная структура. Показано, что в зернах Co_3V выявляются как полосовые домены, так и структура в виде «рядов и зигзагов из звездочек», характерная для орторомбических ферромагнетиков.

Ключевые слова: *металлография, микроструктура, магнитная доменная структура, ферромагнетик.*

Большинство соединений, которые при комнатной температуре проявляют ферромагнитные свойства, имеют кубическую, тетрагональную или гексагональную кристаллические решетки. Известны ферромагнетики с орторомбической решеткой, однако подавляющее большинство из них имеет температуру Кюри (T_C) ниже комнатной, в связи с этим данные об их структуре в литературе встречаются крайне редко. В данной работе методами оптической и электронной микроскопии исследована микроструктура и магнитная доменная структура орторомбического ферромагнитного борида Co_3V ($T_C = 474^\circ\text{C}$) [1].

Методика эксперимента. Слитки исследуемого сплава Co_3V изготавливались из компонентов высокой чистоты (Co– 99.99%, V – 99.9%). Для приготовления шихты исходный металл (кобальт) измельчали на куски массой 1–5 г, поверхность которых очищалась от окислов и обезжиривалась. Бор вводился в шихту в виде спрессованных таблеток из аморфного порошка. Взвешивание компонентов шихты производилось с точностью до ± 0.1 мг на аналитических весах ВЛ-120.

Сплавы получали в установке «Донец-1» методом высокочастотной индукционной плавки. Плавка проводилась в тиглях из алунда в атмосфере особо чистого аргона при давлении 1.1–1.2 атм. Предварительно рабочая камера установки обезгаживалась до вакуума $\sim 10^{-3}$ мм рт. ст. Исходные компоненты нагревались до температуры

1495°C (температура плавления кобальта), при этой температуре происходило растворение бора в жидком кобальте.

Для получения крупнозернистых слитков охлаждение расплава проводилось медленно – со средней скоростью 5–10 °C/с. Полученные слитки имели массу 50–100 г.

Термические обработки сплавов Co-B проводились в трубчатой трехзонной печи TZF 15/610, оснащенной восьмисегментным температурным программатором и вакуумной системой CDK 180+МЗТ (Великобритания, Carbolite).

Микроструктура и доменная структура образцов исследовалась на металлографических микроскопах Neophot-30 и Axiovert 200 MAT.

Исследования фазового и химического состава образцов проводились на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6610LV в режимах отраженных и вторичных электронов.

Полученные результаты и их обсуждение. На рис. 1 показана микроструктура исходного слитка Co₃B. Видно, что кроме основной фазы-матрицы (серая) в сплаве присутствует две вторичные фазы: темно-серая и белая. Методами стереометрической металлографии были определены относительные объемные содержания вторичных фаз в сплавах: темно-серая занимает ~12 об.%, белая – ~6 об.%. Основываясь на диаграмме состояния системы Co-B [2], можно предположить, что темно-серая фаза представляет собой соединение Co₂B, а белая – это кобальт или раствор бора на основе кобальта.

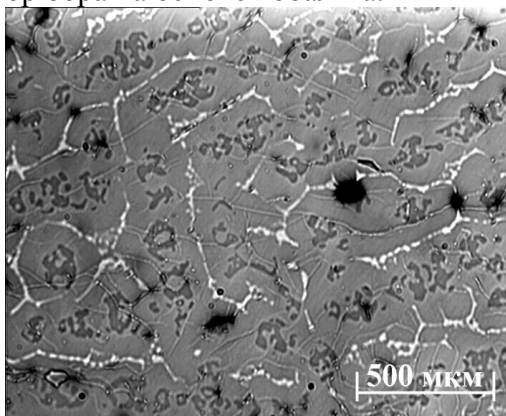


Рис. 1. Микроструктура исходного слитка Co₃B

Для проведения гомогенизации слитка проводилось несколько отжигов по различным режимам [3]. Однако наилучшие результаты были получены при проведении отжига по следующему режиму: нагрев со скоростью 7°C/мин до 1125°C, выдержка при этой температуре в течение 10 минут, медленное охлаждение со скоростью 5°C/час до 1120°C, выдержка при этой температуре в течение 8 часов, закалка до комнатной температуры (рис. 2).

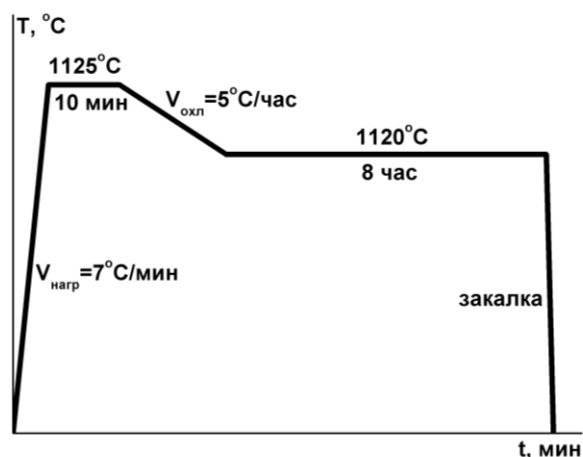


Рис. 2. Режим термической обработки сплава Co_3V

Гомогенизированный сплав Co_3V оказался гораздо более однородным. При небольших оптических увеличениях видны белые выделения второй фазы (рис. 3, а), объем которых не превышает 10 об.%. Однако при больших увеличениях уже в оптическом микроскопе можно увидеть, что данные выделения представляют собой эвтектическую смесь двух фаз (рис. 3, б).

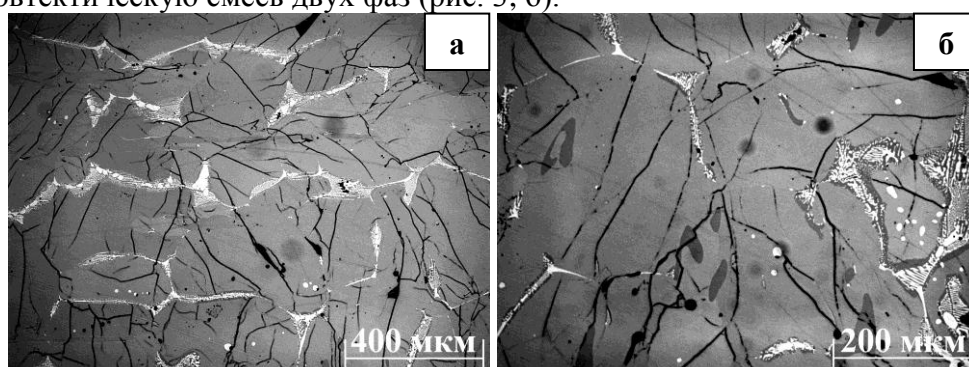
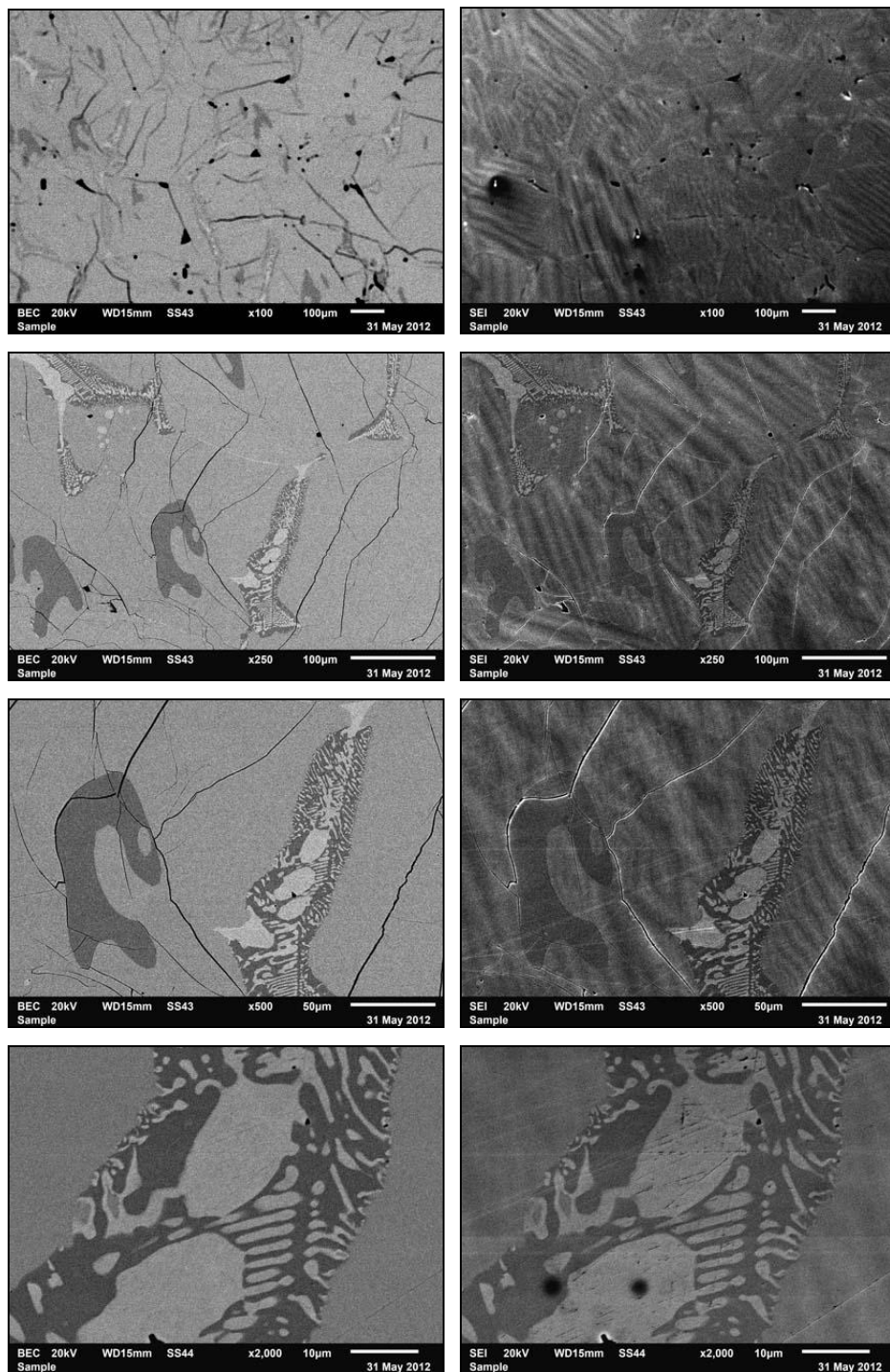


Рис. 3. Микроструктура гомогенизированного сплава Co_3V

Такая же картина наблюдается на полированном шлифе сплава Co_3V и в растровом электронном микроскопе (рис. 4). Видна основная светло-серая матрица и эвтектическая смесь двух вторичных фаз – темно-серой и белой.

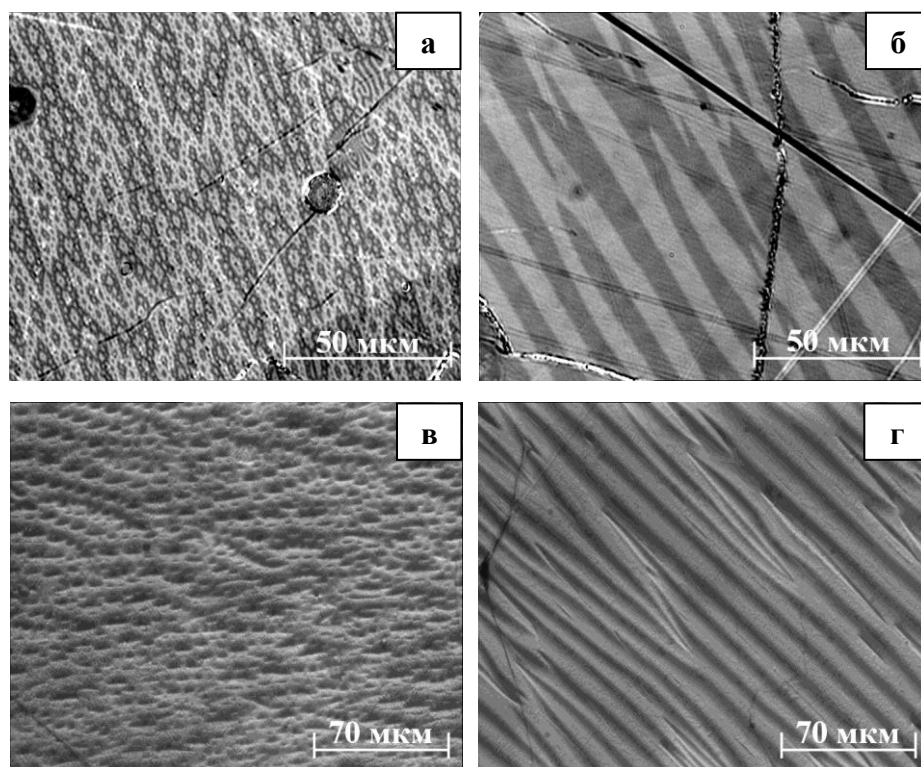
Следует отметить, что в режиме вторичных электронов в основной фазе сплава видны темные и светлые области. Эти изображения по размерам и конфигурации полностью совпадают с доменной структурой сплава Co_3V .



Р и с . 4. Изображения полированной поверхности сплава Co_3V , полученные на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6610LV в режиме отраженных (BEC) и вторичных электронов (SEI)

Комплектация растрового электронного микроскопа JEOL JSM-6610LV позволяет проведение химического анализа. Однако в составе исследуемого сплава содержится бор, который является легким элементом, и его идентификация методом рентгеновского флуоресцентного анализа затруднена. Тем не менее многочисленные эксперименты по определению химического состава фаз исследованного сплава кобальта и бора позволяют утверждать, что основная матрица сплава – это соединение Co_3B , темно-серая фаза – соединение Co_2B , белая фаза – кобальт, возможно, с небольшим содержанием бора.

Методами стереометрической металлографии были определены относительные объемные содержания двух фаз, входящих в эвтектическую смесь. Фаза Co_2B занимает ~45 об.%, кобальт – ~55 об.%.



Р и с . 5. Доменная структура сплава Co_3B , выявленная методами полярного эффекта Керра и порошковых осадков

Нужно отметить, что в процессе полировки на поверхности исследованного сплава после термообработки всегда появляются

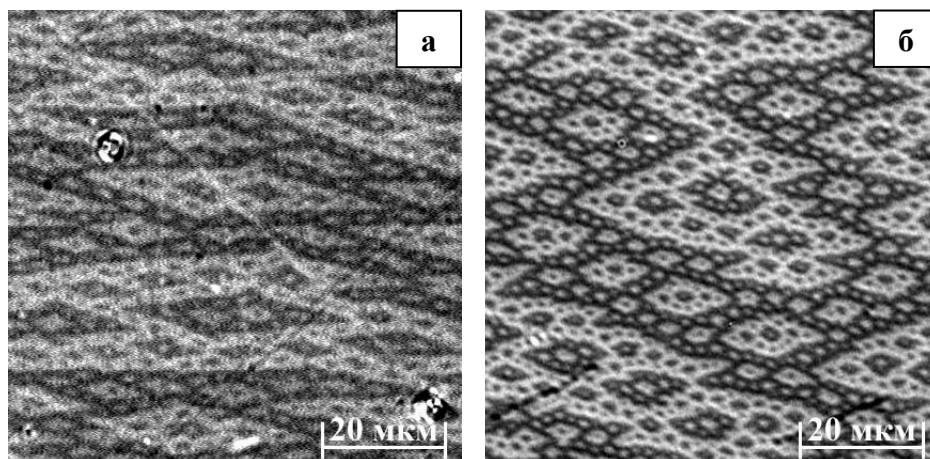
микротрещины. Возможно, этот эффект связан с нестабильностью основной фазы Co_3V при комнатной температуре.

На рис. 5 представлены фотографии доменной структуры исследованного сплава Co_3V , выявленной методом полярного эффекта Керра и методом порошковых осадков.

Часть зерен имеет полосовую или каплевидную доменную структуру (рис. 5, в; г) На поверхности части зерен выявляются домены в виде «рядов звездочек». Кроме того, в рядах «звездочек» часто прослеживается выделенное направление, вдоль которого они ориентированы.

В областях, занимаемых фазами Co_2V и Co , выявить доменную структуру методом полярного эффекта Керра не удалось, но эти области собирают магнитную суспензию, что свидетельствует об их ферромагнитном состоянии.

Аналогичная доменная структура в виде «рядов или зигзагов из звездочек» выявляется на плоскости (010) ромбических монокристаллов FeV [4; 5]. Близость конфигураций доменных структур соединений FeV и Co_3V становится очевидной при сравнении фотографий, представленных на рис. 6.



Р и с . 6. Доменная структура на плоскости (010) ромбических монокристаллов FeV (а) и на поверхности зерен сплава Co_3V (б)

Итак, методами медленного охлаждения расплава и гомогенизирующих термических обработок получены крупнозернистые слитки, основной фазой которых является орторомбическое соединение Co_3V . Исследована доменная структура зерен Co_3V . Обнаружено, что в одних зернах наблюдаются полосовые или каплевидные домены, а в

других – структура замыкающих доменов в виде ориентированных рядов «звездочек», аналогичная структуре доменов на плоскости (010) монокристаллов FeB.

Список литературы

1. Fruchart R. // Compt. rend. Acad. sci. colon. 1963. V. 256, № 15. P. 3304–3305.
2. Okamoto H. // J. of Phase Equilibria. III. 2003. V. 24, № 4. P. 376.
3. Omori S., Hashimoto Y. // Trans. JIM. 1976. V. 17, №9. P. 571–574.
4. Жданова О. В., Ляхова М.Б., Пастушенков Ю.Г. // Физика металлов и металловедение. 2011. Т. 112, № 3. С. 239–246.
5. Жданова О. В., Ляхова М.Б., Пастушенков Ю.Г. // Металловедение и термическая обработка металлов. 2013. № 2. С. 12–16.

MICROSTRUCTURE AND MAGNETIC DOMAIN STRUCTURE OF Co₃B

**O.V. Zhdanova, M.B. Lyakhova, E.M. Semenova, D.Yu. Karpenkov,
A.Yu. Karpenkov**

Tver State University

The microstructures and magnetic domain structures of coarse-grained Co-B alloy were examined with optical microscopy and scanning electron microscopy. It was shown that Co₃B phase contain stripe domain structure and branching of magnetic domains. Co₃B magnetic domain structure is typical for orthorhombic ferromagnetic.

Keywords: *metallography, microstructure, magnetic domain structure, ferromagnetic*

Об авторах:

ЖДАНОВА Ольга Викторовна – кандидат физико-математических наук, ассистент кафедры магнетизма, ведущий программист Методического центра компьютеризации учебного процесса, Тверской государственной университет, e-mail: zhdanova@tversu.ru

ЛЯХОВА Марина Борисовна – доцент, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры магнетизма, Тверской государственной университет, e-mail: Lahova_M_B@mail.ru

СЕМЕНОВА Елена Михайловна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры магнетизма, Тверской государственной университет, e-mail: semenova_e_m@mail.ru.

КАРПЕНКОВ Дмитрий Юрьевич – кандидат физико-математических наук,

ведущий инженер кафедры магнетизма, Тверской государственной
университет, e-mail: Karpenkov_D_Y@mail.ru.

КАРПЕНКОВ Алексей Юрьевич – кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры магнетизма, Тверской государственной университет, e-mail:
Karpenkov_Alex@mail.ru.

Контактные данные редакционной коллегии

170100, г. Тверь, Садовый пер., д. 35, к. 408

Тел.: (4822) 58-85-72

e-mail: vestnikKhimiya@gmail.com

главный редактор – Папулов Юрий Григорьевич;

ответственный секретарь – Павлов Александр Сергеевич;

технический редактор – Игнатъев Данила Игоревич;

Вестник Тверского государственного университета.

Серия: Химия

№ 1, 2015

Подписной индекс: **80208** (каталог российской прессы «Почта России»)

Подписано в печать 20.03.2015. Выход в свет 27.03.2015.

Формат 70 x 108 ¹/₁₆. Бумага типографская № 1.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 11,025.

Тираж 500 экз. Заказ № 112.

Тверской государственный университет.

Редакционно-издательское управление.

Адрес: Россия, 170100, г. Тверь, Студенческий пер., д.12.

Тел. РИУ: (4822) 35-60-63.

Цена свободная

