

УДК 669.12:669-15:621.31

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТЖИГА НА ФОРМИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ГРАНИЦ В АРМКО-ЖЕЛЕЗЕ

БОЛЬШАКОВ В. И. ^{1*}, *д.т.н, проф.*,
СУХОМЛИН В.И. ^{2*}, *к.т.н.*
ВОЛОХ В. И. ³

^{1*}Кафедра материаловедения и обработки материалов (МиОМ), Государственное высшее учебное заведение (ГВУЗ) "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры" (ПГАСА), ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 745 23 72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua. ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра МиОМ, ГВУЗ "ПГАСА", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-62, e-mail: alma31@mail.ru. ORCID ID: 0000-0002-3673-1353

³ ПАО Днепровский металлургический комбинат им. Ф.Э. Дзержинского, ул.Кирова, 18Б, 51925,Днепродзержинск,Украина, тел. +38 (0569) 53-18-68, e-mail: aliha04@rambler.ru. ORCID ID: 0000-0002-9476-2465

Аннотация. Цель. Магнитные свойства армко-железа улучшаются при очистке от примесей и при выращивании крупного зерна, поэтому необходим поиск новых режимов теплового воздействия. Исследования специальных границ в металле с однофазной ферритной структурой не проводились. Установить влияние специальных границ и величины зерна в феррите на магнитные свойства (коэрцитивную силу H_c) армко-железа. **Методика.** Исследовали армко-железо из круглого проката диаметром 42 мм. Образцы нагревали при температуре 900 градусов в печи и выдерживали 1, 2, 3, часа. Проводили металлографические исследования структуры. Выполняли измерение твердости, коэрцитивной силы H_c и подсчет количества специальных границ и величины зерна. **Результаты.** Установлено, влияние температуры и разной временной выдержки, на изменение коэрцитивная сила H_c . С увеличением длительности температурного влияния снижается величина коэрцитивной силы H_c и твердость, увеличивается размер зерна и относительное количество специальных границ в феррите. **Научная новизна.** Отжиг низкоуглеродистых сплавов приводит к увеличению специальных границ в феррите, снижению величины коэрцитивной силы и увеличению магнитной проницаемости. **Практическая значимость.** Материалы с повышенным количеством специальных низкоэнергетических границ могут успешно конкурировать с традиционными металлами в области магнетизма и электротехники.

Ключевые слова: Температурное влияние; отжиг; армко-железо; коэрцитивная сила; твердость; специальные границы в феррите; размер зерна.

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ВІДПАЛУ НА ФОРМУВАННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ГРАНИЦЬ В АРМКО-ЗАЛІЗІ

БОЛЬШАКОВ В. И. ^{1*}, *д.т.н, проф.*,
СУХОМЛИН В.И. ^{2*}, *к.т.н.*
ВОЛОХ В. И. ²

^{1*}Кафедра матеріалознавства і обробки матеріалів (МиОМ), Державний вищий навчальний заклад (ДВНЗ) "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури" ("ПДАБА"), вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 745 23 72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua. ORCID ID 0000-0003-0790-6473

^{2*}Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-62, e-mail: alma31@mail.ru. ORCID ID: 0000-0002-3673-1353

³ ПАТ Дніпровський металургійний комбінат ім. Ф.Э. Дзержинського, вул. Кірова, 18Б, 51925,Дніпродзержинськ, Україна, тел. +38 (0569) 53-18-68, e-mail: aliha04@rambler.ru. ORCID ID: 0000-0002-9476-2465

Анотація. Мета. Магнітні властивості армко-заліза поліпшуються при очищенні від домішок і при вирощуванні великого зерна, тому необхідний пошук нових режимів теплового впливу. Дослідження спеціальних кордонів в металі з однофазної феритної структурою не проводилися. А також встановити вплив спеціальних границь і величини зерна в фериті на магнітні властивості (коерцитивної силу H_c) армко-заліза. **Методика.** Досліджували армко-залізо з круглого прокату діаметром 42 мм. Зразки нагрівали при температурі 900 градусів в печі і витримували 1, 2, 3, години. Проводили металографічні дослідження структури. Виконували вимірювання твердості, коерцитивної сили H_c і підрахунок кількості спеціальних границь і величини зерна. **Результати.** Встановлено температурний вплив і різної тимчасової витримки на величину коерцитивної сили H_c . Зі збільшенням часу температурного впливу знижується величина коерцитивної сили H_c , твердість і збільшується розмір зерна і відносна кількість спеціальних границь у фериті. **Наукова новизна.** Відпал низьковуглецевих сплавів призводить до збільшення спеціальних границь у фериті, зниження величини коерцитивної сили і

збільшення магнітної проникності. *Практична значимість.* Матеріали з підвищеною кількістю спеціальних низькоенергетичних границь можуть успішно конкурувати з традиційними металами в області магнетизму і електротехніки.

Ключові слова: Температурний вплив; відпал: армко-залізо; коерситивна сила; твердість; спеціальні границі в фериті; розмір зерна.

INFLUENCE OF TEMPERATURE ANNEALING ON THE FORMATION OF SPECIAL BOUNDARIES IN ARMCO-IRON

BOLSHAKOV V.I. ^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof*
SUKHOMLIN V.I. ^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.)*
VOLOH V. I. ²

^{1*} Department of Materials Science and Treatment of Materials (MSTM), State Higher Educational Establishment (SHEE) "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture," st. Chernyshevsky, 24-A, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine
Tel. +38 (056) 745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Department of MSTM, SHEE "PSACEA", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, no.+38 (0562) 47-02-62, e-mail: alma31@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3673-1353

³ PAT Dnieper Metallurgical Plant them. F.A. Dzerzhinsky, str. Kirov, 18B, 51925, Dneprodzerzhinsk, Ukraine tel. +38 (0569) 53-18-68, e-mail: aliha04@rambler.ru ORCID ID: 0000-0002-9476-2465

Abstract. Purpose. Magnetic properties of Armco-iron with improved removal of impurities and in growing large grains, so you need to search for new modes of heat exposure. The study of special boundaries in the metal of ferritic single phase structure were carried out. Also determine the effect of specific boundaries and the grain size in the magnetic properties of ferrite in (coercive force H_c) Armco-iron. **Methodology.** We investigated the Armco-iron with a round rental diameter of 42 mm. The samples were heated at 900 degrees in the oven and heated 1, 2, 3 hours. Conducted research metallographic structure. Performed hardness, coercivity H_c and counting the number of special grain boundaries and size. **Findings.** It was established that the effects of temperature and different time of exposure varies coercive force H_c. With increasing temperature influence decreases the value of the coercive force H_c, hardness and grain size increases and the relative number of special boundaries in ferrite. **Originality.** Annealing low-metals and alloys results in increased specific boundaries in ferrite, reducing the size and increasing the coercivity magnetic permeability. **Practical value.** Materials with high number of special low-energy boundaries can compete with traditional metals in electrical and magnetism.

Keywords: Temperature effect; Armco-iron; coercive force; hardness; special boundaries in ferrite; grain size.

Введение

Магнитные свойства армко-железа, в первую очередь значения магнитной проницаемости в слабых и средних полях и коэрцитивная сила, могут меняться в очень широких пределах в зависимости от количества и состава примесей, величины зерна, деформации, характера термообработки и других причин. Улучшаются магнитные свойства армко-железа при выращивании крупного зерна или в результате многократных переплавок в вакууме. Внутренние напряжения в деталях снимаются отжигом. [4]

Следовательно, для получения железа с высокими магнитными свойствами необходимо стремиться не только к очистке его от примесей, но и к выращиванию крупного зерна, что достигается главным образом соответствующей термообработкой (отжигом).

Анализ литературных источников показал определенный интерес к исследованию специальных

границ в сплавах, двухфазных материалах и сталях широкого применения [1, 6]. Однако исследования специальных границ и их влияние на свойства металла с однофазной (ферритной) структурой не проводились.

Поэтому исследования, направленные на изучение специальных границ и их свойств в армко-железе являются актуальными.

Цель

Цель настоящей работы – показать влияние различных режимов отжига на формирование специальных границ, изменение величины зерна в феррите и магнитные свойства (коэрцитивную силу H_c) армко-железа.

Методика

Исследовали образцы, вырезанные из горячекатаного проката Ø 42 мм, следующего химического состава (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав Армко-железа /The chemical composition of the Armco irons

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
0,015	0,25	0,34	0,03	0,008	0,06	0,08	0,17

Нумерация образцов выполнялась по следующей схеме: образец №0-образец свидетель; образец №1; образец №2; образец №3; образец №4.

Схема лабораторной обработки: образцы №1, 2, 3, 4 нагреваются до 900°C, и выдерживаются в печи 1 час для образцов №1 и №2 с последующим охлаждением образца №1 в воде и №2 на воздухе, образец №3 выдерживается в печи 2 часа и №4 - 3 часа с последующим их охлаждением на воздухе. Коэрцитивная сила определялась полуавтоматическим коэрцитиметром КРМ-Ц-К2М. Измерения твердости производились динамическим твердомером ТДМ-2. Для проведения металлографических исследований структуры на автоматическом анализаторе структур 1А 32 выполнен отбор металла размером 20 × 20 × 4 мм. Металлографические шлифы готовили по стандартной методике [3].

Специальные границы выявляли по признакам, описанным в работе [2]. Относительное количество специальных границ определяли методом секущих [5]. Измерения проводили на полях по пяти секущим и определяли среднее значение. В настоящее время известны основные признаки, наличие которых прямо указывает на принадлежность границ зерен к специальным (низкоэнергетическим) [2, 7].

1. Если граница разделяется на 2-3 однонаправленные участки (фасетки), то такая граница является специальной.

2. Если оба конца границы входят в тройные стыки с противолежащими углами превышающие 170°, то эта граница принадлежит к специальным.

3. Граница является специальной, если она одним концом входит в четверной или пятерной стык, а другим концом в тройной стык с противолежащим углом более 170°.

Результаты

Установлено, что лабораторная обработка (отжиг) образцов №1, 2, 3, 4 вызвала изменение коэрцитивной силы Нс.

Результаты измерения коэрцитивной силы Нс и твердости НВ приведены в таблице 2.

На основании признаков указанных в [7,8] были проанализированы снимки микроструктуры армко-железа после одночасовой, двухчасовой и трехчасовой выдержки при температуре 900°C. и идентифицированы границы зерен. На рисунке 1 черными стрелками обозначены специальные границы, а четверные стыки – светлыми объемными стрелками.

Таблица 2

Величина коэрцитивной силы Нс и твердости на каждом образце / Value of coercive force ns and hardness in each model

образец	Н с А/см	НВ
0	0,94	98
1	1,60	150
2	1,45	120
3	1,25	110
4	1,24	116

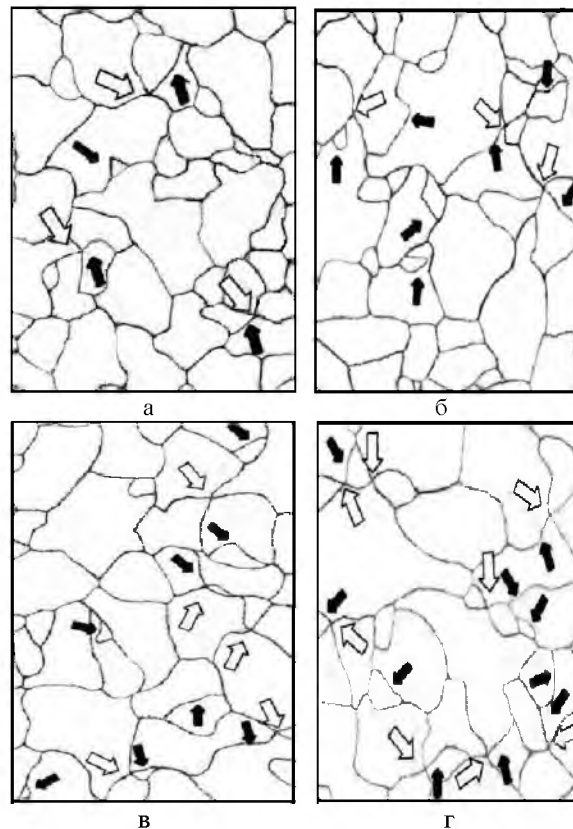


Рисунок 1. Микроструктура после выдержки в печи при 900° С / Microstructure after endurance in the furnace with 900° С

а. - образец 1 1час в печи, охлаждение в воде
 б. - образец 2 1час в печи, охлаждение на воздухе
 в. - образец 3 2часа в печи, охлаждение на воздухе
 г. - образец 4 3часа в печи, охлаждение на воздухе /
 а. - the model of 1 1chas in the furnace, the cooling in the water
 б. - the model of 2 1chas in the furnace, the cooling in air
 в. - the model of 3 2chasa in the furnace, the cooling in air
 г. - the model of 4 3chasa in the furnace, the cooling in air

Образец №0 – образец свидетель - характерен низкой величиной коэрцитивной силы Нс= 0,94А/см, пониженными механическими свойствами, твердость составляет 98 НВ

Образец №1 – охлаждение в воде приводит к некоторому уменьшению величины зерна Дусл.сред.=53 мкм и увеличению коэрцитивной силы

до $H_c = 1,6$ А/см и соответственно увеличению твердости до 150 НВ

Образец №2 – выдержка в печи 1 час и охлаждение на воздухе приводит к уменьшению внутренних напряжений, снижению величины коэрцитивной силы $H_c = 1,45$ А/см, твердости 120 НВ и некоторому увеличению зерна до 64 мкм

Образец №3 – выдержка в печи 2 часа и охлаждение на воздухе вызывает увеличение магнитных проницаемостей, уменьшением коэрцитивной силы $H_c = 1,25$ А/см и остаточной индукции, твердости 110 НВ и приводит к увеличению величины зерна до 78 мкм.

Образец №4 – увеличение выдержки в печи до 3 часов и охлаждение на воздухе приводит к дальнейшему увеличению величины зерна до 81 мкм и уже незначительному снижению величины коэрцитивной силы $H_c = 1,24$ А/см, а твердость, практически, не изменилась 116 НВ.

Научная новизна и практическая значимость

Отжиг ультра-низкоуглеродистых сплавов типа армко-железа приводит к повышенному содержанию специальных границ в феррите и уменьшению коэрцитивной силы, что можно объяснить отсутствием перлитных или других малоподвижных

элементов структуры. Материалы с повышенным содержанием специальных низкоэнергетических границ могут успешно конкурировать с традиционными металлами и сплавами в области электротехники и магнитострикционных устройств.

Выводы

1. Выдержка армко-железа при температуре 900°C в течение 3-х часов приводит к увеличению размеров зерен и относительного количества специальных границ в феррите .

2. Впервые показано, что отжиг армко-железа при температуре 900°C с выдержкой от 1 до 3 часов, приводит к увеличению относительного количества специальных границ с 22,7% до 37,17%.

3. Впервые установлено что увеличение количества специальных границ с 22,7% до 37,17% приводит к увеличению магнитной проницаемости и соответственно снижению величины коэрцитивной силы с 1,60 А/см до 1,24 А/см.

4. Применение коэрцитивной силы H_c в качестве инструмента контроля позволяет оценивать как структурное состояние армко-железа, так и относительное количество специальных границ при разных режимах отжига.

..

4. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. - М.: Мет-гия, 1970.-375 с.

Saltykov S.A. Stereometricheskaya metallografiya. - M. Metallurgiya, 1970. -375 s. <http://www.twirpx.com/file/825320/>

5. Сухомлин Г.Д. Специальные границы в феррите низкоуглеродистых сталей //Металлофизика и новейшие технологии. – 2013. Т. 35, № 9 – С.1237-1249.

Sukhomlin G.D. Spetsialnye granitsy v ferrite nizkouglerodistykh staley. //Metallofizika i noveishie tehnologii. – 2013. Т. 36, № 9 – С.1237-1249. http://mars.arbicon.ru/?mdl=journal_info&id_journal=981

6. Сухомлин Г.Д. Множественные специальные стыки границ зерен в ГТСК поликристаллах. //ФММ, т. 54, вып. 2.-1982.- С. 402-405

Sukhomlin G.D. Mnozhestvennye spetsialnye ctyki granits zeren v GTSK polikristallah. //FMM, t. 54, vyp. 2. – 1982.– С. 402-405. <http://fmm.imp.uran.ru/?raz=about>

7. Bolshakov V., Sukhomlin G., Laukhin D., Beketov O., Derkach T., Kuksenko V. Special boundaries and plural grain boundary junctions in the hypoeutectoid ferrite of low-carbon steels. // Theoretical foundations of civil engineering. – Warszawa.: Polit. Warsh. – 2007. – P. 73-80 <https://architektura.um.warszawa.pl/>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Большаков В.И., Сухомлин Г.Д. и др. Специальные границы в мартенситных структурах низкоуглеродистых сталей. // Металознавство та термічна обробка металів – 2006. – №4 (35) – С. 5 - 14. /

Bol'shakov V. I., Sukhomlin G.D. i dr. Spetsialnye granitsy v martensitnykh strukturah nizkouglerodistykh staley. // Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv – 2006. – №4. (35) – S. 5 - 14. <http://ecat.dit.edu.ua>

2. Лаборатория металлографии. / Панченко Е.В., Скаков Ю.А. и др. – М. Металлургия, 1965. – 440 с.

Laboratoriya metallografi. / Panchenko E.V., Skakov i dr. – M. Metallurgiya, 1965. – 440 s. <http://library.kpi.kharkov.ua/>

3. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. Ред. В.В.Клюева. Кн. 1 В.В. Клюев, В.Ф. Мужичей, Э.С. Горкунов, В.Е. Щербинин. Магнитные методы контроля.-2е изд., испр.- М.: Машиностроение, 2006.-848с.

Nerazrushayushiy kontrol: Spravochnik v 8 t. / Pod obsch. red. V.V. Klyueva. Kn.1 V.V. Klyuev, V.F. Muzhetsei, E.S. Gorkunov, V.E. Scherbinin. Magnitnye metody kontrolya. 2-e izd., ispr. - M.: Mashinostroenie, 2006.-848s. <http://www.td-j.ru/index.php/news/40-2009-10-04-05-39-55/112>

Статья рекомендована к публикации д-ром.техн.наук, проф. Д. В. Лаухиным (Украина); д-ром.физ.-мат.наук, проф. А. Б. Лысенко (Украина)

Поступила в редколлегию 21.01.2015

Принята к печати 24.03.2015