

Микроструктурные эффекты на поверхности материалов в магнитных полях

А. Г. Анисович

Государственное научное учреждение «Физико-технический институт НАН Беларуси»,
ул. Купревича, 10, г. Минск, 220141, Республика Беларусь, e-mail: anna-anisovich@yandex.ru

Методом прицельной металлографии исследованы изменения в металлических и неметаллических материалах под воздействием импульсного магнитного поля. Показано, что структурные изменения находятся на границе предела чувствительности микроскопического метода при использовании максимальных увеличений. Установлено, что общим изменением структуры под воздействием магнитного поля являются локальная трансформация структуры, а также снижение резкости отдельных участков поверхности образцов, не связанное с ошибками фокусировки. В качестве возможных причин изменения структуры обсуждаются напряжения третьего рода.

Ключевые слова: прицельная металлография, импульсное магнитное поле, статические смещения атомов.

DOI: 10.5281/zenodo.1051294

УДК 620.183.2

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время магнитное поле как постоянное, так и переменное используется для изменения структуры и свойств различных материалов. В основном оно применяется совместно с другими процессами обработки и получения материалов: в процессе литья, изменения кинетики фазовых превращений в некоторых процессах обработки и пр. [1–3]. Исследования по непосредственному влиянию магнитных полей на структуру и свойства материалов немногочисленны. Наибольшее их количество выполнено применительно к ферромагнитным материалам, в частности [4], для которых эффект воздействия магнитного поля всегда расценивался как ожидаемый, исходя из специфики их магнитных свойств. Также были получены результаты на материалах с иными магнитными свойствами, в частности, на сплавах цветных металлов [5]. Выполнены исследования по изменению структуры и свойств полимерных материалов на основе политетрафторэтилена в импульсном магнитном поле [6], показавшие возможность успешного повышения триботехнических показателей.

Вместе с тем при исследовании структурных основ изменения свойств материалов в магнитных полях имеется ряд проблем. Так, в частности, эффект воздействия импульсного магнитного поля на изменение свойств материалов (сталь различных марок) невозможно прогнозировать так же, как при традиционных методах обработки металлов и сплавов – термической, обработке давлением и т.д. В различных случаях под влиянием магнитного поля для одного и того

же материала имеет место изменение свойств как в ту, так и в другую сторону. Причем это изменение наблюдается в образцах одной и той же серии, одной поставки. Как правило, микроструктурный анализ таких образцов не выявляет разницы в структуре материала в исходном состоянии и после воздействия магнитного поля даже при существенном изменении механических свойств. Использование метода прицельной металлографии позволяет получить некоторые данные об изменении структуры материала. Тем не менее в интерпретации результатов имеется ряд проблем, связанных с методическими вопросами металлографического анализа.

В данной статье рассматриваются эффекты, наблюдаемые в структуре материалов при воздействии импульсного магнитного поля, выявленные методом прицельной металлографии.

ЭКСПЕРИМЕНТ

В методе прицельной металлографии выбранный участок поверхности образца (со шлифом или без него) фотографируется до и после определенного воздействия с целью выявить сравнительное изменение структуры. Как правило, данный метод используется в том случае, когда хотят надежно зафиксировать изменения определенных структурных деталей, а также обнаружить небольшие изменения в структуре. Методом прицельной металлографии изучали движение границ зерен в процессе рекристаллизационного отжига [7].

Для анализа были выбраны образцы сплавов и неметаллических материалов. На образцах спла-

вов изготовлены шлифы по общепринятой технологии, поверхность образцов неметаллических материалов полировали на воде для увеличения отражающей способности.

Металлографический анализ произведен с использованием металлографического комплекса на основе микроскопа МИКРО-200.

Высокочастотная магнитно-импульсная обработка (ВЧМИО) проводилась на экспериментальной установке, созданной на базе генератора переменного тока ВЧИ-63/5,28 ИГ-801. Установка позволяет возбуждать электромагнитное поле на промышленной частоте $f = 5,28$ МГц [6]. Низкочастотная магнитная обработка проводилась на установке МИУ 20/2. Энергия импульса составляла до 20 кДж, частота – 100 Гц [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлена структура стали ШХ15 до и после обработки низкочастотным магнитным полем. В исходном состоянии отдельные фрагменты структуры находятся «не в резкости» (рис. 1а). После обработки в магнитном поле конфигурация участков с нечетким изображением структуры изменяется (рис. 1б). Данное явление не связано с ошибками наведения на резкость, поскольку участки нечеткого изображения распределены незакономерно по полю изображения. При ошибке наведения на резкость участки нечеткого изображения располагаются полосами по обе стороны участка четкой структуры. Пример ошибки фокусировки представлен на рис. 2. Образец намеренно расположен наклонно по отношению к оси объектива. Поэтому в фокусе оказывается только определенная полоса структуры в середине кадра. В данном случае в фокусе находится зона 2, остальные участки (1 и 3) располагаются соответственно ниже или выше фокуса; их структура «не в резкости».

Структура политетрафторэтилена с металлическим наполнителем до и после обработки в высокочастотном импульсном магнитном поле представлена на рис. 3 [6]. Наводка изображения на резкость производилась на участок, отмеченный окружностью. При проведении эксперимента нагрев образцов или механическое воздействие на них исключалось, поэтому изменения во взаимном расположении деталей изображения связаны с изменениями структуры политетрафторэтилена и металлических частиц в магнитном поле. Причинами наблюдаемого эффекта могут быть поворот включения в матрице или структурные изменения в самом включении, приводящие к изменению ориентировки его различных участков. Следует отметить, что изменения структуры такого уровня

можно заметить только методом прицельной металлографии. Надежно зафиксировать изменение структуры образцов в сериях до и после обработки не представляется возможным. При магнитной обработке материалов изменения микроструктуры находятся на грани чувствительности метода. Таким образом, речь может идти об изменениях структуры в масштабах, находящихся за пределами микроскопического уровня.

Такие эффекты можно в некоторых случаях определить рентгеноструктурным анализом. В таблице приведены результаты определения интенсивности линий рентгенограмм чугуна [8] до и после воздействия импульсным магнитным полем. Анализ рентгенограмм образцов показал, что высокочастотная магнитно-импульсная обработка не изменяет фазовый состав чугуна, но приводит к изменению соотношения интенсивностей интерференционных линий фаз: феррита, графита и цементита. Как видно из таблицы, отношения интенсивностей интерференционных линий феррита (200), (211), (220), (310) к линии (110) после применения ВЧМИО практически совпадают с расчетными значениями, в то время как соответствующие величины для того же образца до ВЧМИО и табличные данные существенно не различаются.

Наблюдаемый эффект связан, по-видимому, со стабилизацией ферритной фазы и с изменением уровня ее внутренних напряжений. Эффект изменения относительной интенсивности интерференционных линий наблюдался также и для других фазовых составляющих чугуна – цементита и графита, но в несколько меньшей степени. Эффект изменения интенсивности линий следует связывать с изменением напряжений третьего рода (или статическими смещениями атомов из положения равновесия). В свое время эти напряжения исследовали применительно к пластической деформации металлов и сплавов [9, 10]. Удалось показать их действительное наличие, связь с механическими свойствами, химической активностью и некоторыми другими характеристиками.

В настоящее время концепция атомных смещений используется для описания процессов в твердых растворах [11, 12], при исследовании фазовых [13] и мартенситных превращений [14] и в некоторых других исследованиях [15]. При исследовании влияния пластической деформации на изменение уровня напряжений третьего рода рассматривался вопрос о влиянии экстинкции в связи с изменением текстуры материалов. Видимо, применительно к воздействию магнитного поля изменение текстуры не следует принимать в расчет, поскольку не изменяется

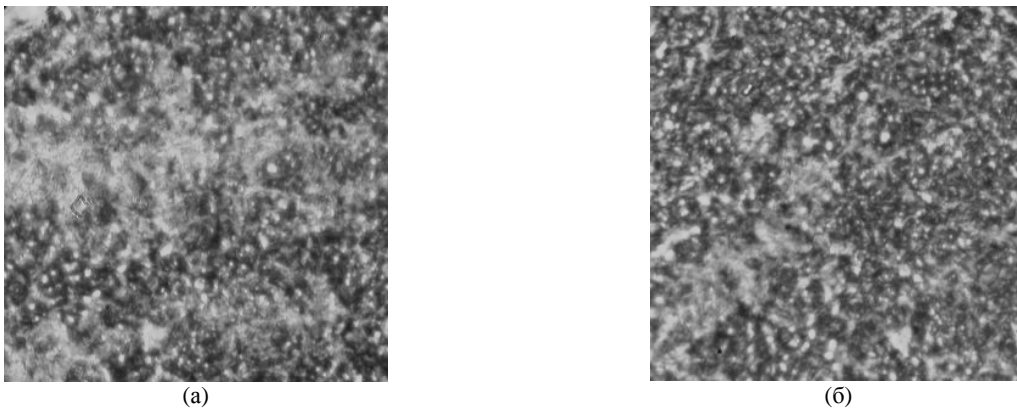


Рис. 1. Изменение однородности микроструктуры шарика из стали ШХ15: исходное состояние (а), после обработки магнитным полем (б); $\times 1500$.

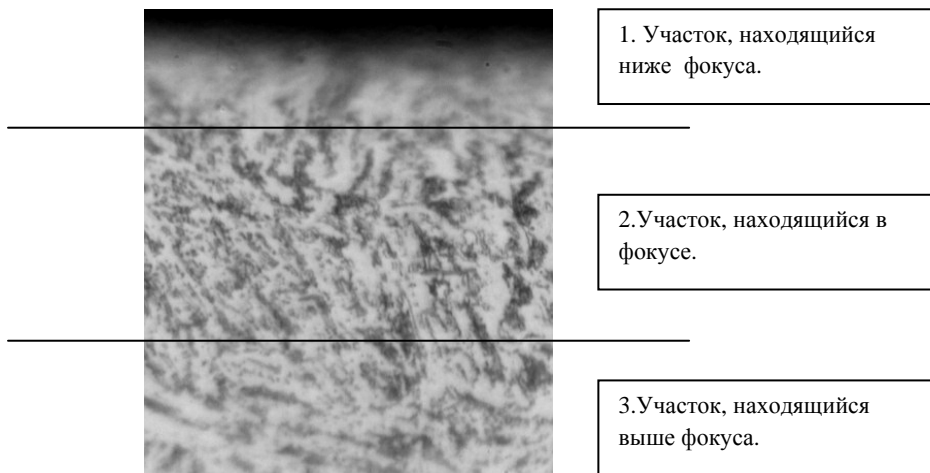


Рис. 2. Изменение резкости изображения структуры при наклонном положении шлифа; $2000\times$.



Рис. 3. Изменение взаимного расположения фрагментов структуры композиционного материала на основе политетрафторэтилена с металлическим наполнителем.

Изменение интенсивности линий феррита чугуна после магнитной обработки

hkl	Интенсивность, %				
	I_0 , Табличные данные	I_1 Исходная	$ I_1 - I_0 $	I_2 После магнитного воздействия	$ I_2 - I_0 $
110	100	100	0	100	0
200	19	8,2	10,8	22,4	3,4
211	30	12,4	17,6	44	10
220	9	3,6	5,4	10,5	1,5
310	12	0,26	11,74	16,7	4,7

видимая структура металлов и сплавов. Текстура металлических материалов является эффектом микроструктурного уровня, и заметные изменения рентгенограммы за счет изменения текстуры находятся в соответствии с изменением микроструктуры.

В некоторых случаях возможно заметить микроскопический эффект воздействия импульсного магнитного поля на структуру чугуна. Это «залечивание» микроскопического дефекта поверхности (рис. 4) [8]. Дефект представляет собой метку, поставленную на шлифе, для

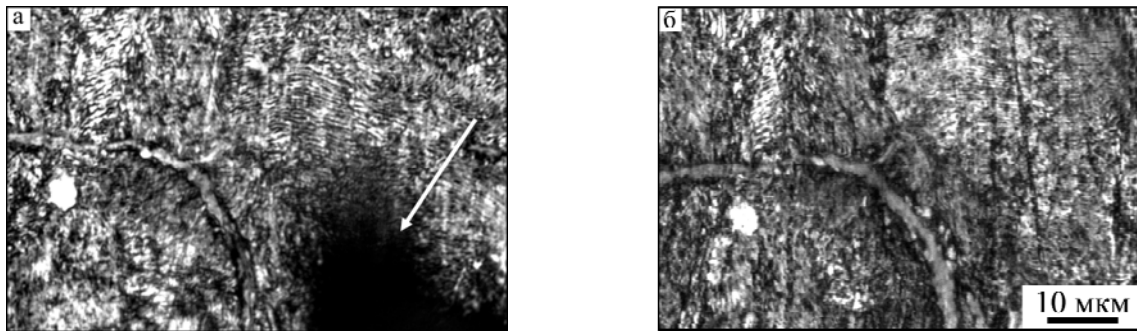


Рис. 4. Устранение механического повреждения на поверхности шлифа после ВЧМИО: (а) – исходное состояние; (б) – состояние после двух циклов воздействия.

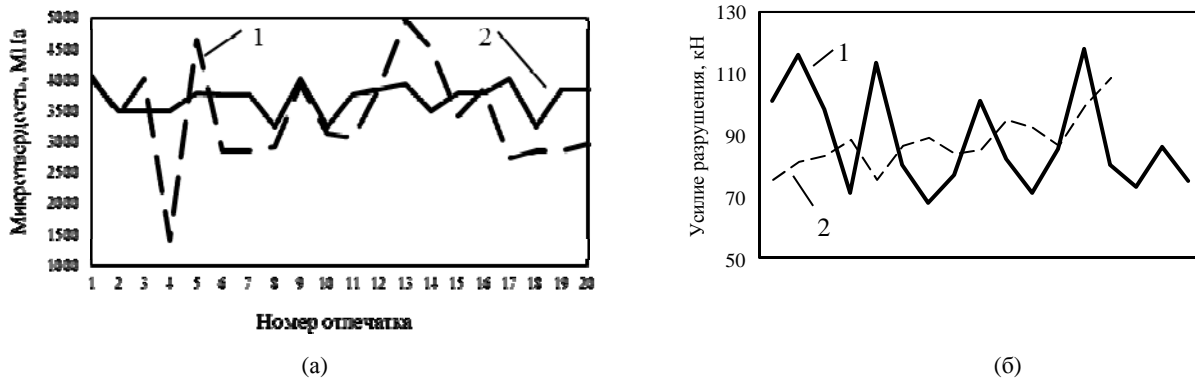


Рис. 5. Изменение разброса свойств после МИО: чугун СЧ25, микротвердость уплотнительных колец (а); сталь ШХ15, усилие разрушения шариков (б); 1 – состояние подставки; 2 – после МИО.

осуществления прицельного метода наблюдения за структурой. Вероятно, на данном участке под воздействием магнитного поля произошли релаксация напряжений и возвращение кристаллической решетки в недеформированное состояние.

Процессы релаксации оказывают определенное воздействие на уровень механических свойств. При воздействии магнитного поля не приходится говорить о какой-либо существенной роли тепловых процессов. Разогрев наблюдали до температур порядка 40–60°C, что недостаточно для активации диффузионных процессов. Поэтому если принять предположение о существенном влиянии напряжений третьего рода, то имеет место релаксация напряжений, за счет которой свойства материала приближаются к свойствам материала с неискаженной кристаллической решеткой. Такое изменение свойств образцов в серии было обнаружено на шарикоподшипниковой стали и сером чугуне [8]. При этом наблюдалось снижение разброса значений как за счет подъема нижней границы уровня свойств, так и снижения максимальных значений (рис. 5). Под воздействием импульсного магнитного поля повышается ряд механических свойств – пластичность, усталостная прочность. Полимеры показали существенное изменение триботехнических показателей [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При воздействии импульсного магнитного поля на металлические и неметаллические материалы изменение микроструктуры возможно заметить только с помощью метода прицельной металлографии. Оно заключается в нарушении резкости изображения отдельных участков, а также незначительных изменениях отдельных деталей структуры. Наблюдаемые эффекты можно связать со статическими смещениями атомов из положения равновесия. При этом изменение свойств может быть объяснено стабилизацией структуры за счет совершенствования кристаллической решетки. Для подтверждения такой точки зрения необходимо проведение дальнейших исследований на различных металлических и неметаллических материалах.

ЛИТЕРАТУРА

- Zhang L., Zhou W., Hu P.H., Zhou Q. *J Alloy Compd.* 2016, **688**, 868–874.
- Tian-jiao Luo, Huan-ming Ji, Jie Cui, Fu-ze Zhao et al. *Trans Nonferrous Met Soc China.* 2015, **25**, 2165–2171.
- Hongxia Zhao, Hanqing Hu, Sheng Liu, Jitian Han. *Chin J Chem Eng.* 2017, **25**(9), 1288–1293. doi: 10.1016/j.cjche.2016.10.026.
- Sun X.Y., Chen C.L., Yang L., Lv L.X. et al. *J Magn Mater.* 2013, **348**, 27–32.

5. Zdor G.N., Anisovich H.G., Shimanovich V.D., Azharonok V.V. et al. *Russ metal+*. 2003, (4), 372–375.
6. Azharonok V.V., Anisovich A.G., Biran V.V., Bukharov S.N. et al. *Surf Eng Appl Electrochem*. 2014, **50**(4), 300–305.
7. Горелик С.С., Добаткин С.В., Капуткина Л.М. *Рекристаллизация металлов и сплавов*. 3-е изд. М.: МИСИС, 2005. 432 с.
8. Анисович А.Г., Румянцева И.Н., Мисуно П.Н., Бевза В.Ф. и др. *ЭОМ*. 2010, (2), 19–26.
9. Смирнова Т.И., Терминасов Ю.С. *Известия АН СССР. Серия Физическая*. 1956, **20**(6), 664–670.
10. Финкель В.М. *Физика металлов и металловедение*. 1956, **2**(1), 189–191.
11. Жернов А.П., Инюшкин А.В. *Успехи физических наук*. 2001, **171**(8), 827–854.
12. Михайлов Ю.Н., Дубинин С.Ф. *Физика твердого тела*. 2004, **46**(12), 2113–2118.
13. Gurskii Z., Krawczyk J. *Physica*. 2003, **337**, 255–265.
14. Cayron Cyril. *Acta materialia*. 2015, **96**, 189–202.
15. Feng Peng. *Physica*. 2006, **373**, 194–197.

Поступила 05.06.17

Summary

Changes of metallic and nonmetallic material structure under the influence of magnetic field are considered by the method of a target metallography. It is shown that structure changes are on the sensitivity limit of the microscopic method. It is established that structure local variations as well as the change of the local area of the surface image sharpness not connected with focusing errors are common for structure change under treatment of a magnetic field. The effect of exposure to a magnetic field also shows the change of the X-ray lines intensity relations. The structure effects are accompanied by a decrease of mechanical characteristics spread of values in a series of samples. The lattice strains could be considered as a reason of structural and some mechanical characteristics change.

Keywords: target metallography, pulse magnetic field, atomic displacements.