

УДК 541.27:541.68

О влиянии слабых импульсных магнитных полей на процессы упорядочения в прецизионных сплавах системы Fe-Si-Al

М.Н. Шипко, М.А. Степович, В.А. Полетаев, доктора техн. наук, В.Х. Костюк, канд. техн. наук

Приведены экспериментальные результаты исследования влияния импульсных магнитных полей на кристаллическую структуру прецизионных сплавов Fe-Si-Al методами мёссбауэровской спектроскопии и электронной микроскопии. Установлено, что после магнито-импульсной обработки повышается твердость и трещиностойкость сплавов. Показано, что изменения прочностных характеристик сплава связано с воздействием магнитного поля на спиновую систему материала, стимулирующую снижение концентрации вакансий и его механическую прочность.

Ключевые слова: импульсы, магнитное поле, спектроскопия, вакансии, сплав, спиновая система.

On Influence of Weak Pulse Magnetic Fields on Regularization Processes in Precision Alloys of Fe-Si-Al System

M.N. Shipko, M.A. Stepovich, V.A. Poletaev, Doctors of Engineering, V. Kh. Kostyuk, Candidate of Engineering

The experimental results of the influence of pulse magnetic fields on the crystal structure of Fe-Si-Al precision alloys are given. The research was carried out with using the methods of Mossbauer spectroscopy and electron microscopy. The authors found out that after the magnetic pulse treatment the hardness and crack resistance of alloys increase. It is shown that changes in the strength characteristics of the alloy connect with the influence of the magnetic field on the material spin system, stimulating reduction of the vacancies concentration and its mechanical strength.

Key words: pulses, magnetic field, spectroscopy, vacancies, alloy, spin system.

Введение. До настоящего времени считалось [1–3], что магнитное поле (даже сильное) не может оказать существенного влияния на процессы реконструкции кристаллической решетки металлов и сплавов. Однако по данным отечественных [4] и зарубежных [5] источников, если воздействие поля осуществляется на металлы и сплавы с отличными от нуля магнитными моментами, ситуация может измениться даже в относительно слабых магнитных полях. Такие поля, изменяя спиновое состояние частиц, могут ускорить процессы реконструкции решетки, изменить энергетическое состояние дефектов и, как следствие, вызвать изменение физико-химических параметров материала – повышение износостойкости конструкционных легированных сталей и чугунов в 1,2–2 раза после их обработки в слабом низкочастотном импульсном магнитном поле. Однако механизм влияния такой обработки на свойства и структуру исследованных материалов окончательно не выяснен.

Прецизионные сплавы на основе системы Fe-Si-Al находят широкое применение в узлах приборов точной механики, работающих в динамическом режиме. Однако, ввиду высокой склонности этих материалов к хрупкому разрушению, в приборах может происходить неконтролируемое разрушение или ухудшение

качества узлов этих устройств в процессе их эксплуатации. Поэтому снижение склонности таких материалов к хрупкому разрушению является весьма актуальной проблемой.

Широко известно о термической и радиационной обработке металлов и сплавов в целях повышения их эксплуатационных свойств, в меньшей степени изучены возможности использования для решения этой задачи импульсных электрических и магнитных полей. Несомненный интерес представляет и сравнение возможностей вышеуказанных методов.

Анализ современного состояния возможностей повышения пластичности материалов, находящихся в хрупком состоянии в результате импульсного магнитного воздействия, проведен в [6]. На основе имеющихся данных и результатов собственных исследований сделан вывод о том, что слабое низкочастотное импульсное магнитное поле, изменяя спиновое состояние частиц, может ускорить процессы реконструкции решетки, изменить энергетическое состояние дефектов и, как следствие, вызвать изменение физико-химических параметров материала, в том числе повышение износостойкости конструкционных легированных сталей после их обработки в 1,2–2 раза. Однако механизм влияния такой обработки на свойства и структуру исследованных материалов не ясен, хотя известно, что такое воздействие оказывает

влияние на основное состояние атомов и на локальные характеристики кристаллической решетки.

Методика эксперимента и результаты исследований. Экспериментально изучалось влияние слабых (10–100 кА/м) низкочастотных (10–20 Гц) импульсных магнитных полей на спиновое состояние атомов железа и, как следствие, на локальные характеристики кристаллической решетки сплавов Fe-Si-Al (сендаст), на их физико-механические параметры и, прежде всего, на возможности повышения их пластических свойств. Сравнительный анализ характеристик образцов проводился до и после импульсного магнитного воздействия.

Обработка проведена в установке с системой автоматического управления параметрами импульсов. В процессе обработки регулировали амплитуду импульсов, их длительность, а также интервалы между импульсами. Исследование локальных характеристик кристаллической решетки выполнено методом мёссбауэровской спектроскопии на ЯГР-спектрометре MS-1104EM с автоматической обработкой ЯГР-спектров по программе UnivemMS; изомерный сдвиг спектров определяли относительно α -Fe. Структура и элементный состав образцов изучались в растровом электронном микроскопе Tescan Vega II XMU с энергодисперсионным рентгеновским спектрометром INCAx-sight. Микротвердость, пористость образцов и распределение пор по размерам выполнены стандартными методами.

В результате проведенных исследований установлено, что после обработки в низкочастотном импульсном магнитном поле прочностные характеристики материала (твердость и нагрузка появления трещин) повышаются.

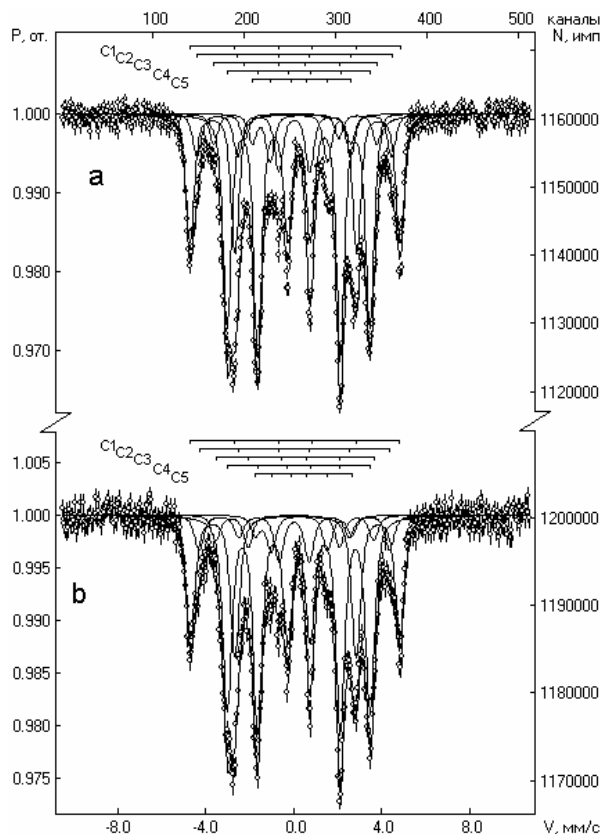
Так, в исходном сплаве трещины появляются при нагрузке 50 Н, а после обработки – при нагрузке 150 Н; в 1,5–1,8 раза возрастает и микротвердость сплава. Изменение этих величин связывается с перераспределением внутренних напряжений вследствие упорядочения вакансий и изменения дислокационной структуры сплава [6]. ЯГР-спектроскопия показала, что в процессе магнитоимпульсной обработки происходит изменение ближайшего окружения атомов железа.

На рисунке показаны спектры исходного образца $\text{Fe}_3(\text{SiAl})$ и этого же образца после магнитоимпульсной обработки.

Оба спектра были разложены на составляющие секстеты с использованием вышеуказанной программы обработки ЯГР-спектров. Наилучшее согласие экспериментального и расчетного спектров оказалось при варианте

представления спектра на 5 секстетов (как до, так и после магнитоимпульсной обработки). Для лучшей сопоставимости образцов до и после магнитоимпульсной обработки при разложении спектров задавалась равная ширина для всех секстетов.

Параметры компонентов спектров: изомерный химический сдвиг δ , квадрупольное расщепление Δ , магнитное поле H на ядрах Fe^{57} , ширина резонансных линий и площади секстетов, пропорциональные неэквивалентным положениям ионов железа в структуре $\text{Fe}_3(\text{SiAl})$, – приведены в таблице.



Мёссбауэровские спектры $\text{Fe}_3(\text{SiAl})$: до (а) и после (б) магнитоимпульсной обработки

Анализ данных (см. таблицу) показывает, что в процессе магнитоимпульсной обработки происходит изменение ближайшего окружения атомов железа. В частности, увеличивается число атомов Fe, имеющих в ближайшем окружении 8 и 4 атома железа (секстеты C1, β -узлы и секстеты C4, γ -узлы соответственно); одновременно уменьшается число атомов железа, имеющих в первой координационной сфере 7 и 3 атома Fe. Это свидетельствует об увеличении заселенности этих положений атомами железа и, соответственно, уменьшении вакансий в узлах γ и β и, как следствие, дополнительном упорядочении сплава. Обработка спектров не позволила обнаружить больших изменений параметров их сверхтонкой структуры: магнитного поля

Н на ядрах Fe^{5+} и изомерного сдвига δ . Незначительные изменения этих параметров наблюдаются для секстета С3 в окружении 6 атомов Fe и 2-х вакансий. Вместе с тем для таких атомов железа заметно уменьшается величина квадрупольного расщепления (с 0,16 до $0,05 \pm 0,03$ мм/с).

Параметры мессбауэровских спектров $Fe_3(SiAl)$ до и после магнитимпульсной обработки образца

Образец $Fe_3(SiAl)$	Компонента спектра	Изомерный сдвиг δ , мм/с	Квадрупольное расщепление Δ , мм/с	Магнитные поля на ядрах Fe^{57} Н, кЭ	Площади компонент S, %	Ширина линии
До обработки	C1	0,08	-0,04	298	23,2	0,45
	C2	0,02	0,00	276	13,0	0,45
	C3	-0,01	0,16	230	5,6	0,45
	C4	0,23	-0,03	202	50,9	0,45
	C5	0,30	0,14	140	7,3	0,45
После обработки	C1	0,07	-0,02	295	26,4	0,49
	C2	0,02	0,01	269	10,2	0,49
	C3	0,03	0,05	223	5,7	0,49
	C4	0,23	-0,01	202	52,2	0,49
	C5	0,35	0,21	136	5,5	0,49
Погрешность		$\pm 0,01$	$\pm 0,03$	± 3		

Заключение

Выполненные исследования показывают, что магнитимпульсная обработка является эффективным способом воздействия на физико-механические свойства упорядочивающихся прецизионных сплавов. В результате такого воздействия удается повысить твердость сплава в 1,5–1,8 раза, а его трещиностойкость – в 3 раза. Причиной этого упрочнения может являться воздействие импульсов магнитного поля на спиновую систему материала, вследствие чего возникают добавочные упругие напряжения, стимулирующие снижение концентрации вакансий, переползание дислокаций и дополнительное упорядочение сплава.

Список литературы

1. **Нацик В.Д.** Торможение дислокаций электронами в сильных магнитных полях // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1974. – Т. 67. – С. 240.
2. **Большуткин Д.Н.** Низкотемпературная пластическая деформация меди и алюминия в магнитных полях до 27 кЭ // Физика низких температур. – 1975. – Т. 1. – С. 1414.
3. **Большуткин Д.Н., Досиенко В.А., Ильичёва В.Я.** Низкотемпературная пластическая деформация никеля в магнитных полях до 34 кЭ // Физика низких температур. – 1976. – Т. 2. – С. 256.
4. **Фокина Е.А.** Влияние магнитного поля на фазовые превращения в сталях / Фазовые превращения и структура металлов и сплавов. – М.: АН СССР, 1982. – С. 46–53.
5. **Freeman A.J., Frankel R.B.** Hiperfine interactions. – New York: Academic Press, 1970. – 367 p.
6. **Шипко М.Н., Помельникова А.С., Шипко Г.А.** Физико-химические особенности технологий поверхностного упрочнения сталей и сплавов / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2008. – 143 с.

Исследования проведены при финансовой поддержке аналитической ведомственной целевой программы Министерства образования и науки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2011 годы)» (код проекта 2.1.2/14218).

Шипко Михаил Николаевич,

Российский государственный торгово-экономический университет,
доктор технических наук, профессор кафедры математики, экономической информатики и вычислительной техники,
адрес: г. Иваново, ул. Дзержинского, д. 53,
e-mail: iv_rgteu@mail.ru

Степович Михаил Адольфович,

Российский государственный торгово-экономический университет,
доктор физико-математических наук, профессор кафедры математики, экономической информатики и вычислительной техники,
адрес: г. Иваново, ул. Дзержинского, д. 53,
e-mail: m.stepovich@mail.ru.

Полетаев Владимир Алексеевич,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии автоматизированного машиностроения,
телефон (4932) 26-97-72,
e-mail: poletaev@tam.ispu.ru

Костюк Владимир Харитонович,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики,
e-mail: admin@fizika.ispu.ru