



Research of influence of the magnetoimpulse processing frequency on change of morphology of graphite inclusions of is carried out.

А. Г. АНИСОВИЧ, Л. В. БИСЛЮК, ФТИ НАН Беларуси,

В. В. АЖАРОНОК, ИФ НАН Беларуси, В. А. ХАРЬКОВ, В. Ф. БЕВЗА, ИТМ НАН Беларуси

УДК 621.7.044.7:669.13

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ЧУГУНА

Особый интерес для машиностроения представляет проблема обеспечения стабильности качества материалов и изделий. В связи с этим основной задачей материаловедения является направленное изменение структуры металлов и сплавов, обеспечивающей высокий уровень физико-механических свойств. Для этой цели необходимо использовать все ресурсы материалов в плане изменения их внутреннего строения. Следовательно, необходим поиск методов обработки, воздействующих как на поверхность, так и на внутреннюю структуру и субструктуру материала. Одним из таких методов является обработка импульсным магнитным полем (МП) [1].

Магнитное поле оказывает благоприятное воздействие на изменение структуры и свойств железоуглеродистых сплавов. В частности, наблюдается эффект изменения размера и конфигурации включений графита в аустенитной матрице чугуна ЧН15Д7 [2], повышение микротвердости и равномерности ее распределения по сечению образца. Изменение микроструктуры после низкочастотной МИО связывается с процессами рекристаллизации в аустенитной матрице [2, 6].

В ранее проведенных работах показана возможность применения высокочастотного магнитно-импульсного воздействия для изменения структуры и повышения упругих характеристик изделий из чугуна с шаровидным графитом [3].

Магнитно-импульсная обработка (МИО) представляет собой комплексное воздействие на материал за счет магнитострикционных процессов и механических деформаций, тепловых и электромагнитных вихревых потоков, локализованных в местах концентраций магнитного потока, а также систему процессов, направленно ориентирующих «спин – характеристики» внешних электро-

нов атомов металлов пограничной зоны контакта зерен. Вводимая при импульсной магнитной обработке энергия, как и тепловая, стимулирует сдвиговые и диффузионные релаксационные процессы, способствует переходу системы (сплава) из неравновесного в более стабильное состояние. Суммарные эффекты могут быть различными в зависимости от исходной структуры стали и сплава, от режимов магнитно-импульсного воздействия; в каждом конкретном случае имеется принципиальная возможность с помощью МИО управлять характеристиками сталей и сплавов в нужном направлении, получать новые состояния и свойства. Однако сведения по теории и практике МИО весьма ограничены, нередко противоречивы. Не установлены закономерности изменения структуры и свойств сталей и сплавов в зависимости от параметров обработки, что затрудняет практическое внедрение МИО [4].

Материалы и методика исследования

Целью данной работы было исследование влияния частоты магнитно-импульсной обработки на изменение морфологии включений графита. Высокочастотную обработку (ВЧМИО) проводили на экспериментальной установке ВЧЕР на основе генератора высокочастотного тока ВЧИ-62-5-ИГ-101 [5]. Установка ВЧЕР позволяет возбуждать высокоинтенсивное магнитное поле и стабильно горящий ВЧ разряд альфа-формы на частоте 5,28 МГц в разрядной камере (РК) планарного типа с охлаждаемыми медными электродами площадью 20×20 мм² и межэлектродным расстоянием L , регулируемым в диапазоне 2–10 мм. Схема установки для ВЧМИО показана на рис. 1.

Рабочие режимы установки: ток разряда $I = 1,5–9$ А; вкладываемая в разряд электрическая мощность $J = 0,4–3,5$ кВт.

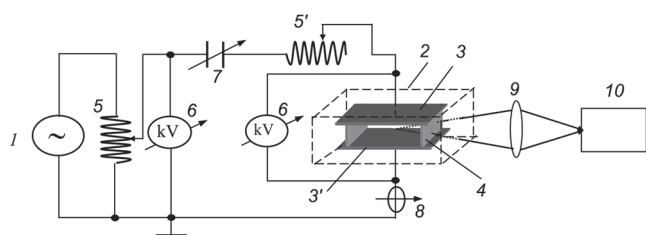


Рис. 1. Принципиальная схема установки ВЧЕР: 1 – генератор; 2 – вакуумная камера; 3 и 3' – ВЧ и заземленный электроды РК соответственно; 4 – кварцевое окно РК; 5 – индукционная катушка; 6 – киловольтметр; 7 – конденсатор; 8 – пояс Роговского; 9 – объектив; 10 – монохроматор (цифровая видеокамера)

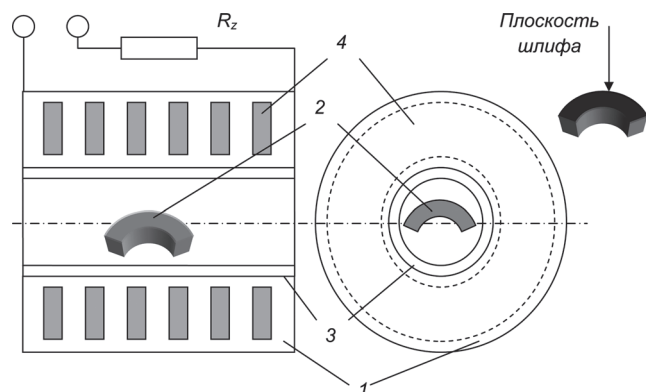


Рис. 2. Схема воздействия: 1 – корпус индуктора; 2 – образец; 3 – сепаратор; 4 – катушка индуктора; R_z – суммарное омическое сопротивление электрической цепи

Для обработки в магнитном поле также использовали экспериментальную низкочастотную магнитно-импульсную установку. Образцы размещали в осевой зоне индуктора (рис. 2). Параметры экспериментальной установки приведены в табл. 1. (В данной статье низкотемпературная магнитная обработка обозначена как МИО).

Таблица 1. Параметры экспериментальной установки

Характеристики генератора и индуктора	Значение
Энергия импульса, кДж	0,6–20
Емкость конденсаторной батареи, мкФ	1200
Собственная частота разрядного контура, кГц	20
Разрядный ток, кА	30–50
Магнитная индукция, Тл	10–20
Длительность импульса тока, мкс	150–200
Время нарастания тока до максимального значения, мкс	30

Объектом исследования являлись образцы высоколегированного чугуна аустенитного класса марки ЧН15Д7. Химический состав по ГОСТ 7769-82 приведен в табл. 2. Образцы (шлифы) изготовлены из полых цилиндрических отливок, полученных в условиях интенсивного радиального теплоотвода методом непрерывно-циклического

литья намораживанием (НЦЛН) в металлическую водоохлаждаемую форму (опыты № 1Н, 3Н). Для обработки при ВЧМИО были выбраны два образца из опыта 1Н (№ 1Н1 и 1Н2), для обработки МИО – из опыта 3Н (№ 3Н1-1, 3Н1-3).

Таблица 2. Химический состав чугуна

Номер опыта	Химический состав, мас. %						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	P
1Н1	2,8	2,2	0,87	2,5	16,9	4,7	0,12
1Н2	2,8	2,2	0,87	2,2	16,9	4,5	–
3Н1-1 3Н1-3	2,84	2,5–2,6	0,54	1,6	15,1	4,7	–

Металлографический анализ проведен с использованием металлографического комплекса на основе микроскопа Микро-200. Фиксацию изображения производили с помощью видеокамеры с выводом на монитор персонального компьютера. Количественную обработку микроструктуры проводили с помощью программы «Image-SP». Исследование изменения структуры осуществляли методом прицельной металлографии при увеличении 2000. При этом исследуемый участок шлифа предварительно помечали меткой, а затем фотографировали до и после обработки.

Микротвердость образцов проводили на приборе ПМТ-3, время выдержки индентора под нагрузкой 17 с. Все замеры проводили от наружной кромки к внутренней с шагом 1000 мкм. Из-за завала кромки в образцах серии 1Н1 и 1Н2 был сделан отступ от наружной кромки на 2000 мкм, для серии образцов 3Н1-1 и 3Н1-3 – на 1000 мкм. Схема замера микротвердости показана на рис. 3.

Обсуждение результатов

Структура представлена аустенитной матрицей, пластинчатыми включениями графита и свободным цементитом (рис. 4, а). Форма включений графита ПГ_ф4 (ГОСТ 3443-87). На рис. 4, б показана микрофотография образца 1Н2 после двух циклов ВЧМИО.

Ниже представлены «маски» включений графита, обработанные в программе «Image-SP». «Маска» – это результат выполнения операции

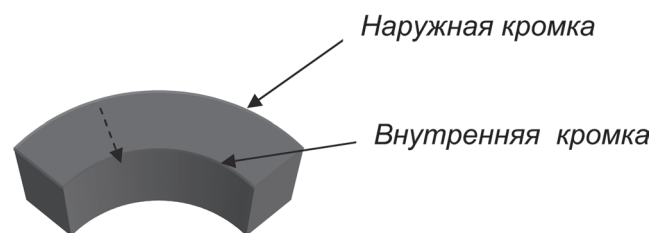


Рис. 3. Схема замера микротвердости в образцах

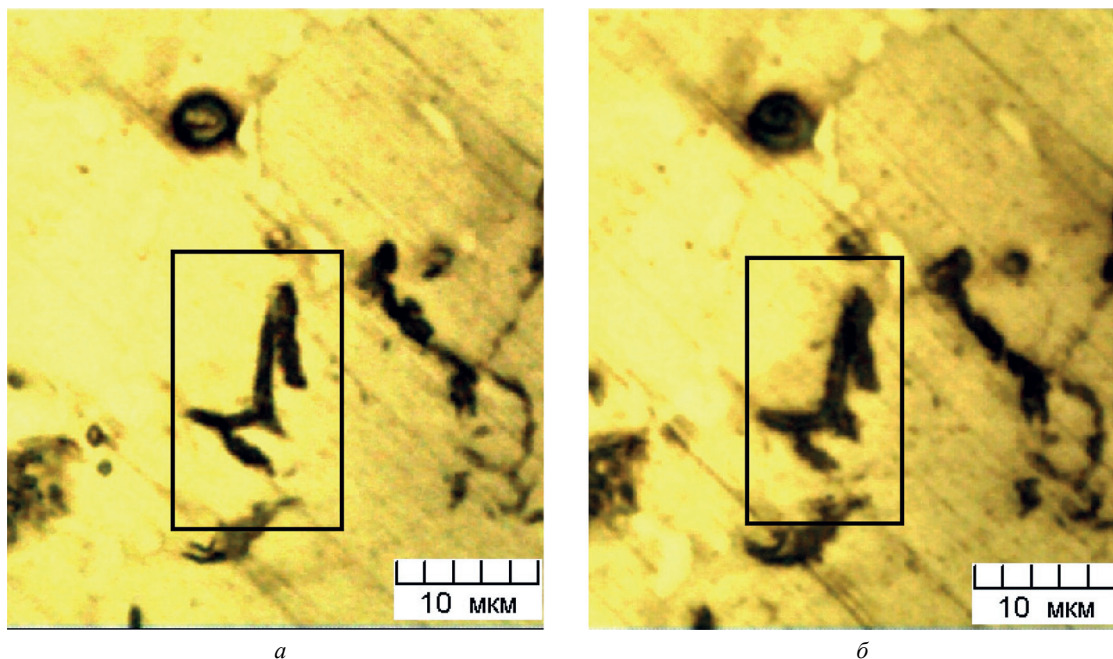


Рис. 4. Микроструктура включений графита 1H2: *a* – исходное состояние; *б* – после двух циклов МИО

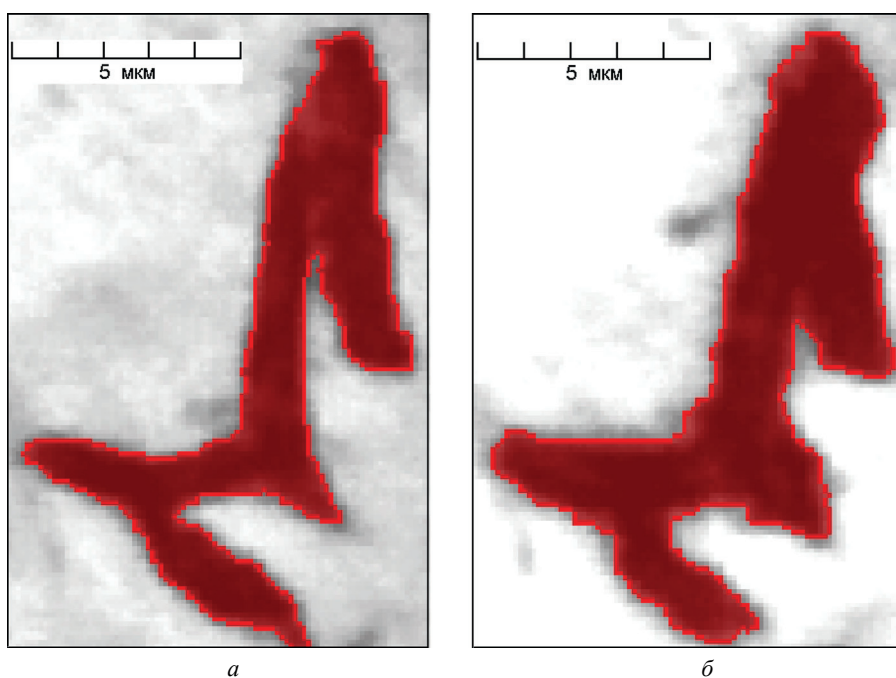


Рис. 5. Обработка изображений: *a* – исходный; *б* – после двух циклов МИО

«Обнаружение объектов» в программе «Image – SP». Маска определяет область или объект структуры, для которого проводится определение количественных характеристик (площади, периметра и т. п.)

ВЧМИО чугуна приводит к увеличению размеров графитовых включений. После двух циклов обработки наблюдается увеличение площади включений графита от 32,47 мкм² в исходном состоянии до 39,31 мкм² после обработки. Площадь включений графита увеличивается на 21% после обработки ВЧМИО (рис. 6).

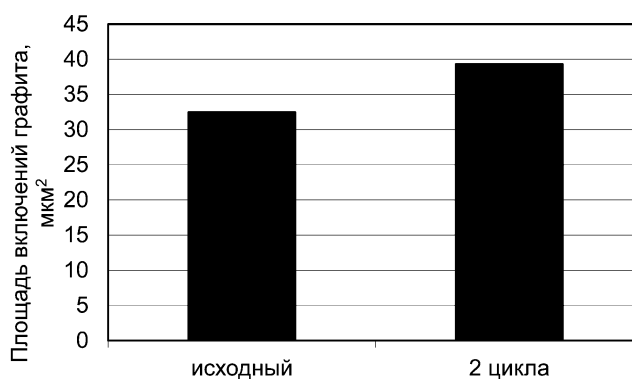
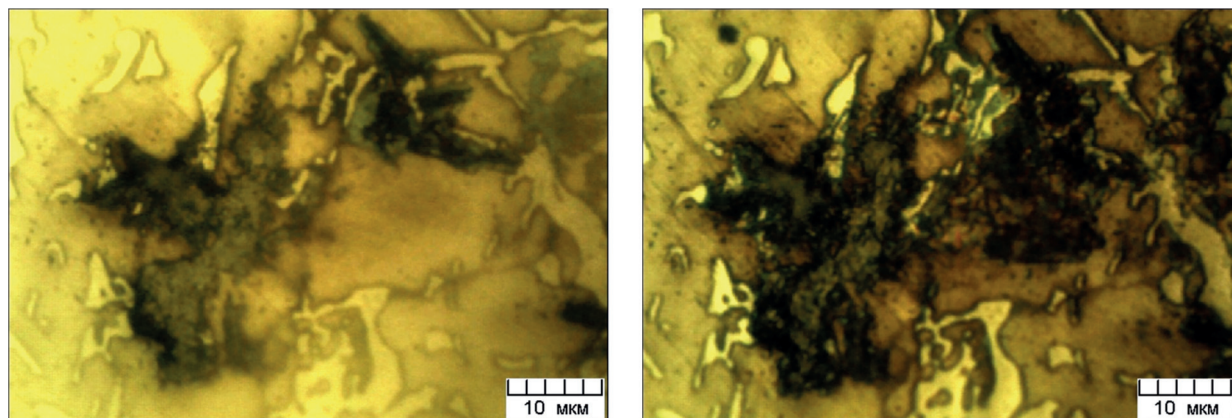


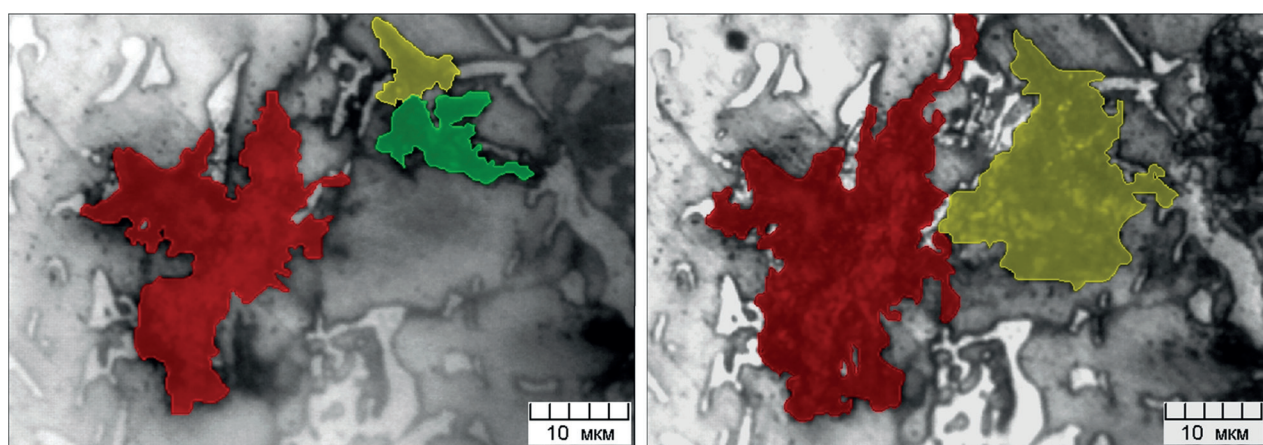
Рис. 6. Изменение площади включений графита, мкм²



a

б

Рис. 7. Микроструктура включений графита образца 3Н1-1: *a* – в исходном состоянии; *б* – после двух циклов МИО



a

б

Рис. 8. Обработка изображений: *a* – исходный; *б* – после двух циклов МИО

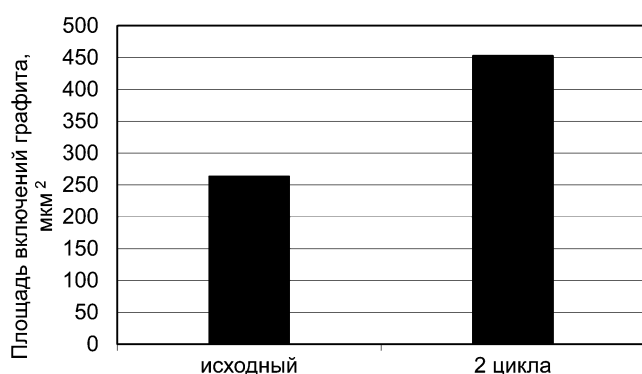


Рис. 9. Изменение площади включений графита

На рис. 7 показаны микрофотографии структуры образцов после двух циклов низкочастотной магнитно-импульсной обработки (МИО).

Ниже представлены «маски» изображений включений графита, обработанные в программе «Image-SP» (рис. 8).

Площадь включений графита в образце 3Н1-1 после воздействия двух циклов низкочастотной МИО значительна: от 263,16 мкм² в исходном состоянии до 452,6 мкм² после обработки МИО (рис. 9).

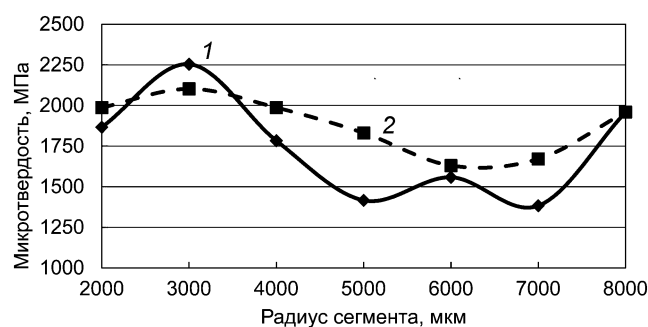


Рис. 10. Изменение микротвердости чугуна по сечению сегмента 1Н2: 1 – 1Н2 исходный; 2 – 1Н2 после двух циклов

Повышение площади включений графита после двух циклов МИО составило 70–75% от исходных значений.

На рис. 10 показано изменение микротвердости аустенитной матрицы образца после двух циклов обработки высокочастотным магнитным полем.

В исходном образце микротвердость выше на наружной кромке, что может быть связано с разной скоростью охлаждения наружной и внутренней кромок образца. При двух циклах ВЧМИО на-

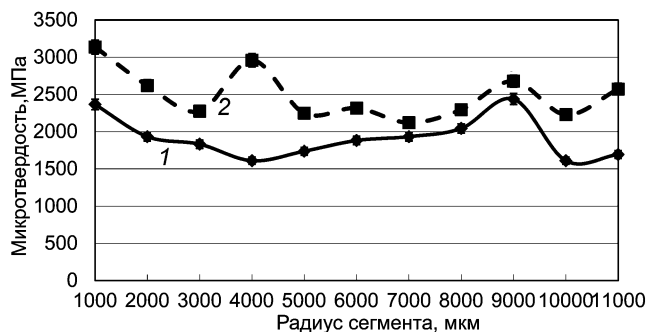


Рис. 11. Изменение микротвердости чугуна по сечению сегмента ЗН1-1: 1 – ЗН1-1 исходный; 2 – ЗН1-1 после двух циклов

блюдается повышение равномерности распределения микротвердости по сечению образца.

На рис. 11 показано изменение микротвердости после обработки в низкочастотном магнитном поле.

Определение микротвердости аустенитной матрицы провели на образце ЗН1-1 по сечению сегмента. Микротвердость неравномерна по сече-

нию, численные значения ее по радиусу сегмента варьируются в пределах 1800–3000 МПа. После магнитно-импульсной обработки микротвердость по сечению образца повышается на 30–40% от исходных значений. Неравномерность микротвердости по сечению сохраняется.

Выводы

После низкочастотной магнитно-импульсной обработки изменения структуры происходят более интенсивно, что согласуется с выводами [6]. После обработки в магнитном поле с частотой 20 кГц площадь включений графита увеличивается на 70–75% по сравнению с исходной структурой, в то время как после ВЧМИО только на 30%. Увеличение значений микротвердости аустенитной матрицы как после ВЧМИО, так и после МИО составило 30–40% от исходных значений.

Исследование профинансировано грантом БРФФИ №ТМЛД-004 в рамках Программы сотрудничества «БРФФИ – АН Молдовы».

Литература

1. Автореф. дис. «Исследование влияния локального воздействия магнитного поля на структуру и свойства инструмента из быстрорежущих сталей». Комсомольск-на-Амуре, 2004.
2. А н и с о в и ч А. Г., Р у м я н ц е в а И. Н., Б и с л ю к Л. В. и др. Влияние импульсного магнитного поля на морфологию графита высоколегированного чугуна // *Литье и металлургия*. 2011. № 3. С. 24–29.
3. А н и с о в и ч А. Г., Р у м я н ц е в а И. Н., М и с у н о П. Н., Б е в з а В. Ф., А ж а р о н о к В. В. Изменение структуры и свойств уплотнительных колец из чугуна при магнитно-импульсной обработке // *Электронная обработка материалов*. 2010. № 2 (262). С. 19–26
4. Автореф. дис. «Структурные превращения и физико-механические свойства инструментальных и пружинных сталей при магнитно-импульсном воздействии». Нижний Новгород, 2011.
5. А н и с о в и ч А. Г., Р у м я н ц е в а И. Н., Б е в з а В. Ф. и др. Изменение структуры чугуна СЧ25 в модулированном по амплитуде высокочастотном электромагнитном поле // *Электронная обработка материалов*. 2009. № 2 (256). С. 47–56.
6. Д а в ы д о в С. В. Эффективность магнитно-импульсной обработки // *Вестн. БГТУ*. 2007. № 3(15). С. 8–9.