



The results of researches of change of microstructure of heavily alloyed austenitic cast-iron ChN1507 subjected to magnetoimpulse processing are given. It is established that microhardness rises on all section of the sample.

А. Г. АНИСОВИЧ, И. Н. РУМЯНЦЕВА, Л. В. БИСЛЮК, ФТИ НАН Беларуси,
Е. И. МАРУКОВИЧ, В. Ф. БЕВЗА, В. А. ХАРЬКОВ, ИТМ НАН Беларуси

УДК 621.7.044.7:669.13

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА МОРФОЛОГИЮ ГРАФИТА ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОГО ЧУГУНА

Введение

Магнитное воздействие является эффективным способом изменения структуры и свойств различных материалов [1–3], в частности водно-электролитных растворов [4], биологических объектов [5, 6], полимерных тканей и волокон [7–9]. Простота технологии, а также высокая производительность применяемых устройств и установок позволяют рассматривать данный метод обработки как перспективный в различных областях хозяйственной деятельности.

На протяжении значительного времени исследования воздействия магнитного поля на металлы и сплавы проводились преимущественно в комбинации с другими воздействиями (деформация, закалка, отжиг, кристаллизация). Наиболее многочисленные исследования такого направления рассматривают влияние магнитного поля на мартенситное превращение в сталях [10–13].

В настоящее время выделены эффекты воздействия непосредственно импульсного магнитного поля на структуру и свойства сплавов цветных металлов [1, 14, 15]. Показана возможность изменения структуры и свойств перлитного и феррито-

перлитного чугуна с графитом различной морфологии в импульсном высокочастотном магнитном поле [16, 17]. Было установлено изменение морфологии графита, диспергирование перлита и повышение его однородности, что вызвало повышение твердости.

В данной работе проведено исследование влияния импульсного магнитного поля на изменение структуры чугуна аустенитного ЧН15Д7, полученного методом литья направленным затвердеванием. Химический состав чугуна по ГОСТ 7769-82 приведен ниже. В качестве образцов использовали сегменты, вырезанные из литой заготовки (табл. 1).

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu
2,84	2,5–2,6	0,54	1,6	15,1	4,7

Таблица 1. Характеристика образцов

Номер образца	Размеры заготовок для образцов, мм			Твердость НВ
	диаметр		длина L, мм	
	наружный D	внутренний d		
3Н1–1				
3Н1–3	60	33	237	137–149

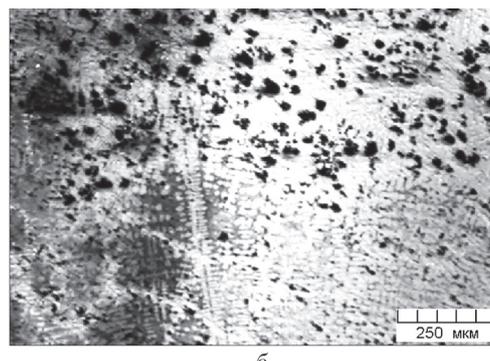
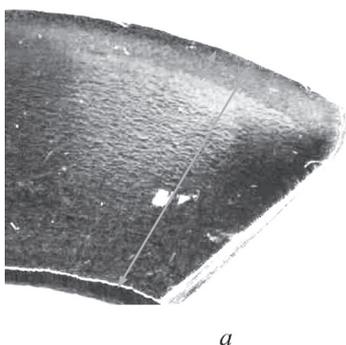


Рис. 1. Макро- (а) и микроструктура (б) сегмента кольца, вырезанного из отливки № 3Н1-1

Образцы обрабатывали механически по внутреннему диаметру и наружной поверхности сегмента. Следует отметить, что от наружной кромки к середине макроструктура образца неравномерная по сечению (рис. 1, а). Ширина зоны неоднородности составляет десятую часть от ширины сегмента (см. стрелки). Микроструктура также неоднородна (рис. 1, б).

Экспериментальная установка и методика исследований

Изменения в структуре образцов в результате МИО были изучены с использованием металлографического комплекса на основе металлографического микроскопа МИКРО-200. Фиксацию изображений производили с помощью видеокамеры с выводом на монитор персонального компьютера. Количественную обработку микроструктуры осуществляли с помощью программы «IMAGE-SP». Исследование изменения структуры до и после МИО проводили методом прицельной металлографии при увеличении 2000.

Для обработки в магнитном поле использовали экспериментальную магнитно-импульсную установку. Образцы размещали в осевой зоне индуктора (рис. 2). Параметры экспериментальной установки приведены в табл. 2.

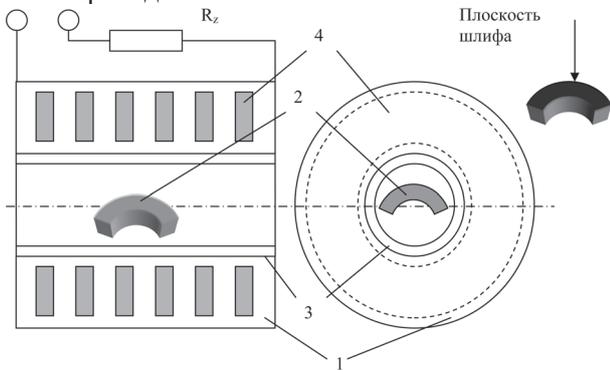


Рис. 2. Схема воздействия: 1 – корпус индуктора; 2 – образец; 3 – сепаратор; 4 – катушка индуктора; R_z – суммарное омическое сопротивление электрической цепи

Таблица 2. 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

Принципиальная схема воздействия магнитного поля представлена на рис. 3, а, где показаны два цикла обработки. Единичный цикл МИО представлял собой серию затухающих колебаний (рис. 3, б).

Импульс воздействия магнитного поля формировался за счет разряда емкостного накопителя на индуктор через высоковольтный управляемый разрядник. В рабочей зоне индуктора импульсное магнитное поле наводит в находящейся в нем металлическом образце вихревые токи. В результате взаимодействия токов индуктора и образца возникают механические усилия, оказывающие давление на образец. Температура образцов в процессе обработки магнитным полем не превышала 40 °С [18]. Параметры магнитно-импульсной обработки приведены в табл. 3.

Таблица 3. Параметры магнитно-импульсной обработки

Номер образца (заготовки)	Параметры МИО		
	U , кВ	J , кДж	n
ЗН1–1	1,8	2	2
ЗН1–3	1,3	1	6

Примечание. U – напряжение на конденсаторной батарее; J – энергия импульса.

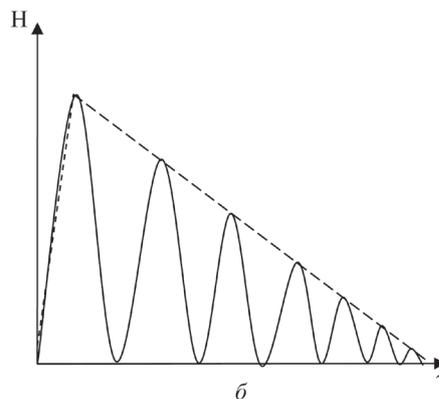
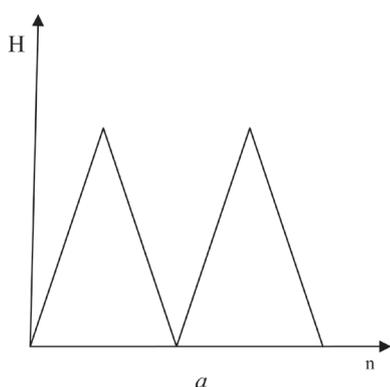


Рис. 3. Схема обработки: а – принципиальная схема импульсного воздействия; б – форма единичного импульса; H – напряженность магнитного поля; n – количество циклов; τ – время

Измерение микротвердости проводили на приборе ПМТ-3. Нагрузка на инденторе составляла 50 г. Время выдержки под нагрузкой 17 с. Отпечатки располагали на расстоянии 1000 мкм друг от друга начиная от наружной поверхности. Первый отпечаток расположен на расстоянии порядка 2000 мкм от наружной кромки.

Результаты и их обсуждение

На рис. 4 приведены микроструктуры образцов ЗН1-1 и ЗН1-3 в исходном состоянии. Матрица представлена аустенитом и пластинчатыми включениями графита. Форма включений графита ПГ_φ4 (ГОСТ 3443-87).

После МИО наблюдается изменение вида и размеров графитных включений. Наиболее харак-

терные структуры представлены на рис. 5, 6, где даны микроструктуры и «маски» соответствующих включений графита. («Маска» – это результат выполнения операции «Обнаружение объектов» в программе «IMAGE – SP», при этом объекты, подлежащие количественному анализу, выделяются определенным цветом. После этого определяются размеры окрашенной области – площадь, длина, ширина, периметр и т. д.). Номера масок соответствуют номерам включений графита на микрофотографиях. Основными эффектами изменения микроструктуры являются увеличение размера и слияние близко расположенных включений графита. Наиболее активно данный процесс проходит у кромок образца. В частности, на рис. 5 показаны изменение размера включения 1, слияние

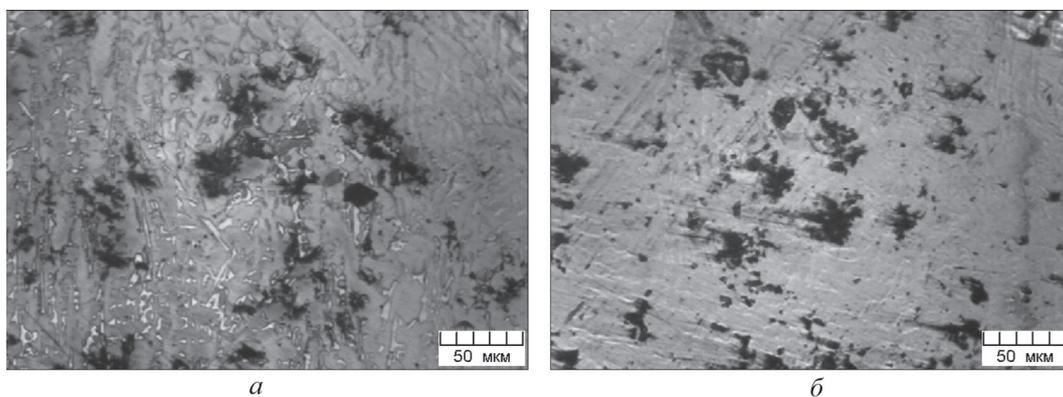


Рис. 4. Микроструктура образцов в исходном состоянии: а – ЗН1-1; б – ЗН1-3

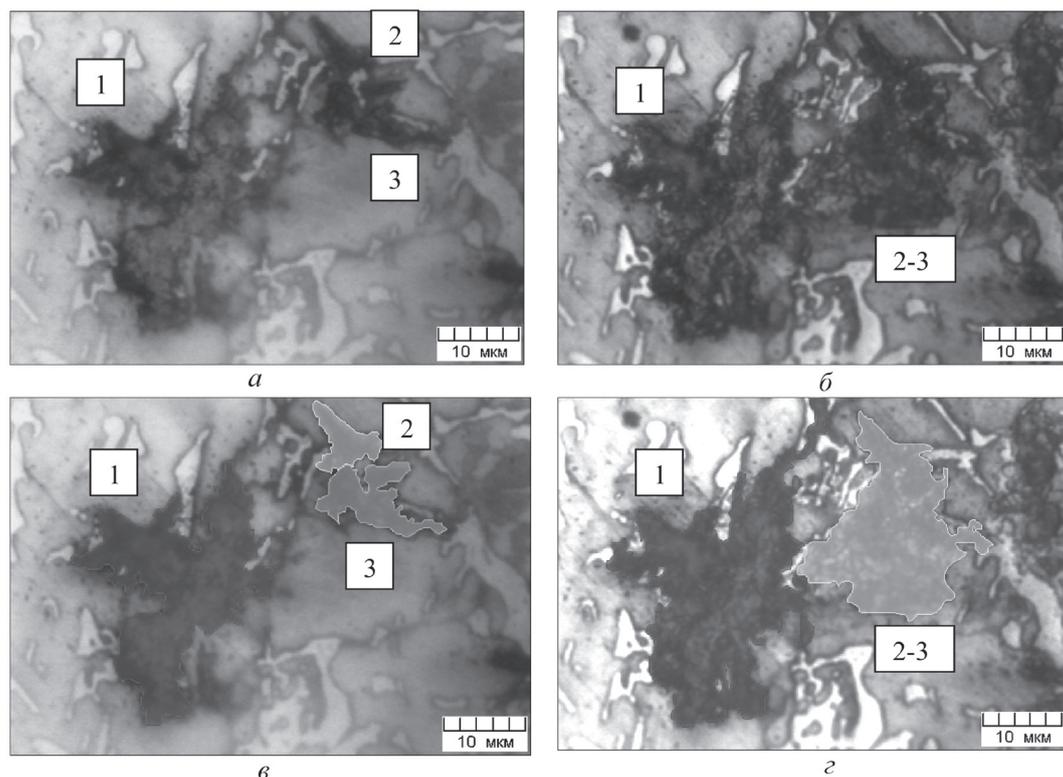


Рис. 5. Микроструктура (а, б) и маски (в, г) включений графита образца ЗН1-1 в исходном состоянии (а, в), после 2 циклов МИО (б, г); наружная кромка

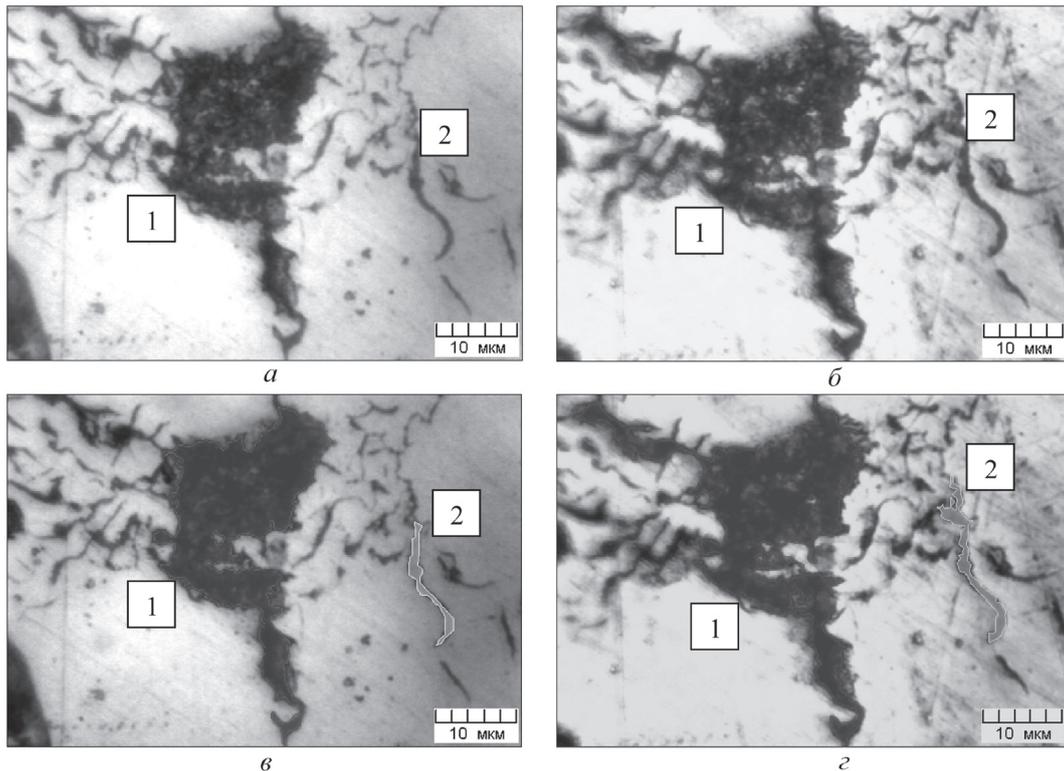


Рис. 6. Микроструктура (а, б) и маски (в, г) включений графита образца ЗН1-3 в исходном состоянии (а, в), после 6 циклов МИО (б, г); внутренняя кромка

включений 2 и 3 и рост сформировавшегося включения на наружной кромке образца. На внутренней кромке процесс изменения формы графита протекает не столь интенсивно (рис. 6).

Изменение площади включений графита после МИО для обоих образцов при изменении количества циклов воздействия показано на рис. 7, 8.

Площадь включений графита в образце ЗН1-1 после воздействия двух циклов МИО значительно увеличилась на наружной кромке и незначительно – на внутренней. Среднее значение площадей, занимаемых графитом, на наружной и внутренней кромкам составило соответственно 132 и 226 мкм². Повышение площади включений графита составило 70–75% от исходной после двух циклов МИО.

После шести циклов МИО также наблюдается рост площади включений графита и составляет 7 и 20% на наружной и внутренней кромках соответственно.

На образце ЗН1-1 провели определение микротвердости аустенитной матрицы по сечению сегмента. Микротвердость неравномерна по сечению, численные значения ее по радиусу сегмента варьируются в пределах 1800–3000 МПа (рис. 9). После магнитно-импульсной обработки микротвердость по сечению образца повышается на 30–40% от исходных значений. Неравномерность микротвердости по сечению сохраняется.

Судя по изменению микротвердости, в отливке состава ЗН1-1 при используемых параметрах МИО

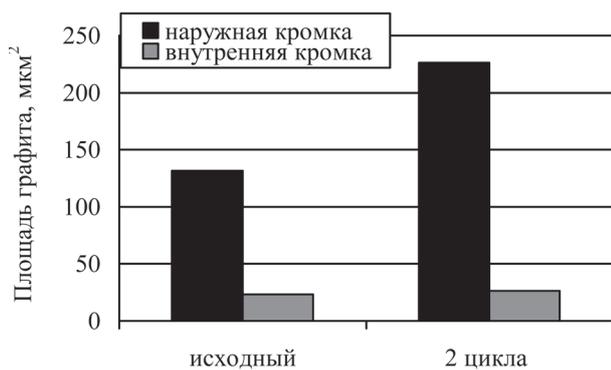


Рис. 7. Изменение площади включений графита в образце ЗН1-1

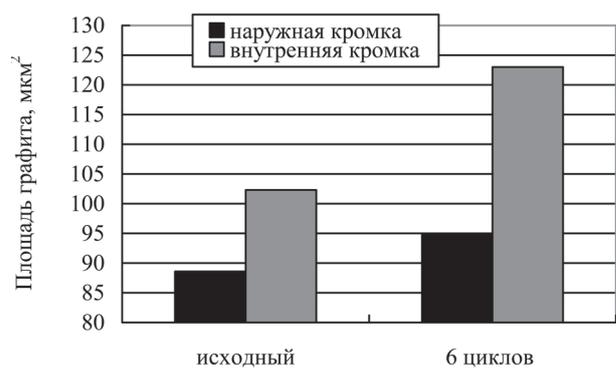


Рис. 8. Изменение площади включений графита в образце ЗН1-3

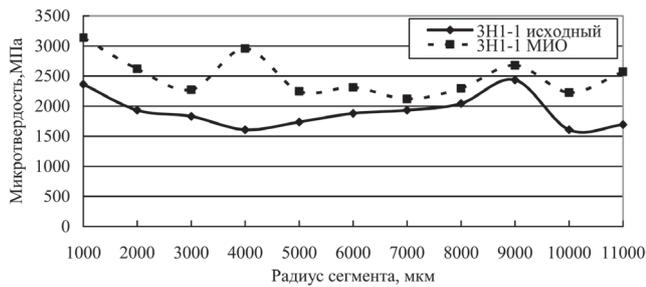


Рис. 9. Изменение микротвердости по радиусу сегмента отливки № 3Н1-1 после МИО двух циклов

трансформация структуры происходит по всей толщине.

Изменение характера включений графита в данном случае, возможно, связывать с процессами, протекающими в аустенитной матрице. В соответствии с [19] импульсное воздействие приводит к существенному измельчению зерна за счет процесса фрагментации структуры. При этом для новых зерен характерна зубчатость границ, что является признаком динамической рекристаллизации.

Формирование зубчатых границ наблюдали в [20] при МИО меди. Такую границу можно рассматривать как сложную двойниковую с участками двойниковой ориентации разного порядка. При импульсном магнитном воздействии микропластическая деформация происходит по механизму интенсивного двойникового и сопровождается повышением плотности дислокаций [19]. В результате микропластической деформации и процессов релаксационного типа [1] в аустенитной матрице чугуна возможна реализация процессов динамической рекристаллизации и фрагментации. Поэтому изменение формы включений графита может быть вызвано формированием и ростом новых зерен вблизи включений графита. Увеличение площади, занимаемой графитом, возможно за счет коалесценции мелких включений междендритного и точечного графита при движении границ зерен.

Исследование финансируется Белорусским Республиканским Фондом фундаментальных исследований.

Литература

1. А н и с о в и ч А. Г. Закономерности процессов структурообразования и термодинамический аспект организации структуры металлов при нестационарных энергетических воздействиях: Дис. ... д-р физ.-мат. наук. Мн., 2005.
2. М а р т и н Дж., Д о э р т и Р. Стабильность микроструктуры металлических систем. М.: Атомиздат, 1978. С. 247–252.
3. А н и с о в и ч А. Г. Импульсные методы обработки металлов // Тендер. 2006. № 56. С. 14–16.
4. К о к ш а р о в С. А., К о н с т а н т и н о в О. И., М е л ь н и к о в Б. Н., М о р ы г а н о в А. П. Влияние магнитного поля на состояние растворов активных красителей // Журн. прикл. химии. 1990. Т. 63. № 3. С. 565–571.
5. Б и н г и В. Н., С а в и н А. В. Физические проблемы действия слабых магнитных полей на биологические системы // Успехи физических наук. 2003. Т. 173. № 3. С. 265–300.
6. Г о р о д е ц к а я Е. А., С п и р и д о в и ч Е. В., К о р е в к о И. А., А ж а р о н о к В. В., Ф и л а т о в а И. И., Н е к р а ш е в и ч Я. И. Влияние плазменно-радиоволновой обработки на посевные качества семян // Докл. НАН Беларуси. 2007. Т. 51. № 6. С. 256–262.
7. А ж а р о н о к В. В., Ф и л а т о в а И. И., В о щ у л а И. В., Д л у г у н о в и ч В. А., Ц а р ю к О. В., Г о р ж а н о в а Т. Н. Изменение оптических свойств бумаги под влиянием магнитной составляющей высокочастотного электромагнитного поля // ЖПС. 2007. Т. 74. № 4. С. 421–426.
8. П е р с и д с к а я А. Ю., К у з е е в И. Р., А н т и п и н В. А. О влиянии импульсного магнитного поля на механические свойства полимерных волокон // Хим. физика. 2002. Т. 21. № 2. С. 90–98.
9. Г у л ь В. Е., Х а н ч и ч О. А., С а в ч е н к о Н. А. Воздействие однородного магнитного поля на термотропный жидкокристаллический сополимер оксисбензойной кислоты и этилентерефталата // Механика композиционных материалов и конструкций. 1995. Т. 1. № 2. С. 124–128.
10. С ч а с т л и в ц е в В. М., Р о м а ш е в Л. Н., Я к о в л е в а И. Л., С а д о в с к и й В. Д. Электронно-микроскопическое исследование структуры кристаллов мартенсита, зародившихся под действием импульсного магнитного поля // Физика металлов и металловедение. 1981. Т. 51. № 4. С. 773–782.
11. А г а п о в а Е. В., Г у н д ы р е в В. М., С и д о р о в Е. В. О структурных изменениях в сплаве ЮНДК35Т5АА при термомагнитной обработке // Физика металлов и металловедение. 2006. Т. 102. № 2. С. 178–183.
12. К а л е т и н а Ю. В., Ф о к и н а Е. А., С ч а с т л и в ц е в В. М. Особенности влияния импульсного и постоянного магнитных полей на мартенситное превращение в сплавах с изотермической кинетикой // Физика металлов и металловедение. 2005. Т. 99. № 1. С. 31–37.
13. Г в о з д е в А. Г., Б о р о д и н И. П., Г в о з д е в а Л. И., С у ш к о в а Т. В., П а х о м о в А. А. Исследование влияния обработки в импульсном магнитном поле на свойства стали 4Х5МФ1С // Материалы V Международной научной конференции «Прочность и разрушение материалов и конструкций», 12–14 марта 2008 г., Оренбург, Россия. Т. 1. С. 370–373.
14. З д о р Г. Н., А н и с о в и ч А. Г., Я с к о в и ч А. Г. Применение импульсного магнитного поля для повышения механических свойств сплавов цветных металлов // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2004. № 5. С. 65–70.
15. З д о р Г. Н., А н и с о в и ч А. Г., Ш и м а н о в и ч В. Д., А ж а р о н о к В. В., Д р е с в и н С. В. Трансформация структуры и свойств бериллиевой бронзы под воздействием высокочастотного магнитного поля // Изв. РАН. Металлы. 2003. № 4. С. 100–105.
16. А н и с о в и ч А. Г., Р у м ь а н ц е в а И. Н., Б е в з а В. Ф., М а р у к о в и ч Е. И., А ж а р о н о к В. В., Г о н ч а р и к С. В. Изменение структуры чугуна СЧ25 в модулированном по амплитуде высокочастотном электромагнитном поле // Электронная обработка материалов. 2009. № 2(256). С. 47–56.

17. Анисович А. Г., Румянцева И. Н., Мисуно П. Н., Бевза В. Ф., Ажаронок В. В. . Изменение структуры и свойств уплотнительных колец из чугуна при магнитно-импульсной обработке // Электронная обработка материалов. 2010. № 2 (262). С. 19–26.

18. Анисович А. Г., Румянцева И. Н., Марукович Е. И., Ажаронок В. В., Гончарик С. В. Изменение структуры чугуна СЧ25 в модульном по амплитуде высокочастотном электромагнитном поле // Электронная обработка материалов. 2009. № 2. С. 47–56.

19. Давыдов С. В. Эффективность магнитно-импульсной обработки // Вестн. БГТУ. 2007. № 3(15). С. 8–9.

20. Здор Г. Н., Тофпенец Р. Л., Анисович А. Г., Зарецкий И. А. Структурообразование в меди под воздействием импульсного магнитного поля // Изв. Рос. Акад. наук. Сер. физ. 1995. Т. 59. № 10. С. 65–71.