

Использование инжектора с источником многозарядных ионов на ускорителе «Сокол» увеличивает энергетический диапазон ионов, применяемых для облучения, расширяет аналитические возможности методов анализа на ионных пучках. Пучки двухзарядных ионов гелия позволяют проводить диагностику водорода в твердотельных мишенях с помощью метода ядер отдачи, исследовать профили концентрации водорода по глубине, применять резонанс $^{16}\text{O}(\alpha, \alpha)^{16}\text{O}$ при энергии 3,038 МэВ в методе РОР для исследования тонких оксидных слоев, исследовать структуру и состав многослойных пленок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вергунов А. Д., Левченко Ю. З., Новиков М. Т., Пистряк В. М., Сторижко В. Е., Чеканов С. Я. Малогабаритный электростатический ускоритель на 2 МэВ горизонтального типа // ВАНТ. 1983. № 3(24). Сер. Общая и ядерная физика. С. 13–15.
2. Бондаренко В. Н., Глазунов Л. С., Гончаров А. В., Зац А. В., Кузьменко В. В., Левенец В. В., Омельник А. П., Пистряк В. М., Сухоставец В. И., Щур А. А. Аналитический ядерно-физический комплекс ННЦ ХФТИ «Сокол» (опыт эксплуатации и модернизация) // Тр. XVI Междунар. конф. по электростатическим ускорителям и пучковым технологиям (Обнинск, 6–8 июня 2006 г.). Обнинск, 2006. С. 98–107.
3. Glazunov L. S., Zats A. V., Karpus S. G., Kuz'menko V. V., Pistryak V. M. Multi-charged ion source // Problems of atomic science and tech. Ser. Nuclear Phys. Investigations. 2011. № 3(55). P. 68–74.
4. Kim Y.-K., Irikura K. K. Electron-impact total ionization cross section of molecular ions // J. of Research of NIST. 2000. Vol. 105, № 2. P. 285–291.
5. Кузема А. С., Савин О. Р., Чертков И. Я. Анализирующие системы магнитных масс-спектрометров. Киев, 1987.
6. Мищенко В. М., Попов А. И., Сторижко В. Е. Универсальный интегратор тока. Харьков, 1971.
7. Gailard M. J., Poizat J. C., Remilleux J. Observation of dissociative H_2^+ ions emerging from very thin foils // Phys. Rev. Letters. 1978. Vol. 41, № 3. P. 159–162.
8. Cue N., De Castro Faria N. V., Gaillard M. J., Poizat J. C., Remilleux J. Electron loss and capture cross sections of 800 KeV amu^{-1} H and He species in carbon foils // NIM. 1980. Vol. 170, iss. 1–3. P. 67–72.
9. Armstrong J. C., Mullendore J. V., Harris W. R., Marion J. B. Equilibrium charge-state fractions of 0,2 to 6,5 MeV helium ions in carbon // Proc. Phys. Soc. 1965. Vol. 86. P. 1283.
10. Ziegler J. F., Ziegler M. D., Diersack J. P. SRIM – The stopping and range of ions in matter // NIM. Section B. 2010. Vol. 268, iss. 11/12. P. 1818–1823.
11. Parmentier R., Lemarchand F., Catheiliaud M., Lequime M., Amra C., Labat S., Bozzo S., Booget F., Charaf A., Thomas O., Dominici C. Piezoelectric tantalum pentoxide studied for optical tunable applications // Appl. Optics. 2002. Vol. 41, № 16. P. 3270–3276.
12. Комаров Ф. Ф., Кумахов М. А., Таушыков И. С. Неразрушающий анализ поверхностей твердых тел ионными пучками. Минск, 1987.

Поступила в редакцию 02.03.2015.

Виктор Николаевич Бондаренко – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт».

Леонид Степанович Глазунов – ведущий инженер Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт».

Александр Васильевич Гончаров – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт».

Абрам Волькович Зац – научный сотрудник Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт».

Степан Геннадиевич Карпусь – младший научный сотрудник Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт».

Вячеслав Владимирович Кузьменко – начальник ускорительной установки Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт».

Виктор Михайлович Пистряк – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт».

Владимир Иванович Сухоставец – научный сотрудник Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт».

УДК 669.017:669.15-194.018.26

В. А. КОЗЕЧКО (УКРАИНА)

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ УДАРНЫХ ВОЛН

Исследовано влияние предварительного ударно-волнового нагружения на процессы химико-термической обработки. Установлены взаимные связи между глубиной легированного слоя и интенсивностью предварительной ударно-волновой обработки в целях повышения ресурса деталей из конструкционных сталей.

Впервые экспериментально установлены закономерности изменения параметров зоны насыщения в процессе химико-термической обработки стали от интенсивности пластической деформации.

Определено, что применение в качестве стимулирующего фактора предварительной ударно-волновой обработки приводит к увеличению глубины легированного слоя при борировании в 1,5–2,0 раза и упрочнению поверхностного слоя (микротвердость повышается 1,4–1,8 раза).

Впервые установлено, что комплексная обработка, которая включает предварительное ударно-волновое нагружение и последующее насыщение стали бором, является эффективным способом упрочнения как поверхностного слоя, так и всей детали в целом при существенном сокращении времени насыщения в 2,0–2,5 раза.

Ключевые слова: ударно-волновое нагружение; борирование; азотирование; диффузия; толщина легированного слоя; микротвердость; износостойкость; механические свойства.

The article is focused on the research into the impact of the shock-wave load on the processes of chemical and thermal treatment, mutual relationships between the depth of alloyed layer during chemical and thermal treatment and intensity of the pre-shock wave treatment, for enhancing the resource term of construction steel components. For the first time, the relations of the saturation zone parameters in the process of chemical and thermal treatment of steel and those characterising the intensity of plastic deformation were established. The experiment was to determine the relationship between the speed and depth of the explosion pulse doped layer.

For the first time experimentally established regularities of changes of parameters in the saturated zone of chemical and heat treatment of steel by severe plastic deformation.

It was found that the use as a motivating factor pre-shock-wave treatment increases the depth of the doped layer during nitriding and boriding 1,5–2,0 times and hardening of the surface layer (microhardness increased 1,4–1,8 times).

For the first time found that the complex process that includes pre-shock-wave loading and subsequent saturation of steel with boron or nitrogen is an effective way of strengthening the details of how the surface layer, and all the items in a substantial reduction in the total saturation time of 2,0–2,5 times.

Key words: shock-wave load; boron saturation; nitrogen saturation; diffusion; alloyed layer thickness; microstrength; durability; mechanical properties.

Анализ работ по повышению производительности процессов химико-термической обработки показал, что для интенсификации диффузионных процессов широко используется ультразвук, термо-механическая обработка, объемная пластическая деформация и др. [1].

В статье представлены впервые проведенные исследования влияния высокоэнергетического воздействия на конструкционные стали в целях повышения производительности химико-термической обработки, что значительно расширяет потенциал и возможности альтернативных технологий [2]. Однако наряду с этим остается малоизученным ударно-волновое воздействие на металлические материалы для стимулирования и активизации диффузионных процессов при насыщении конструкционных сталей легирующими элементами. Поэтому исследования, направленные на повышение эффективности химико-термической обработки за счет роста глубины легированного слоя, снижение энергоемкости процесса насыщения, повышение ресурса изделий с помощью высокоэнергетической обработки, являются важными и актуальными.

Энергии высокой плотности, источниками которой могут быть взрывчатые вещества, лазерные излучения, магнитные поля высокой напряженности и т. п., способные создавать экстремальные параметры давления и температур, с высокой эффективностью используются в процессах металлообработки и создания новых материалов [3].

В качестве объекта исследования выбрана низколегированная конструкционная сталь 40Х, из которой были изготовлены образцы размером $20 \times 40 \times 200$. Высокоэнергетическая обработка металлических пластин проводилась в специальной камере. Для предотвращения деформации образцы помещались в специальный свинцовый контейнер (рис. 1).

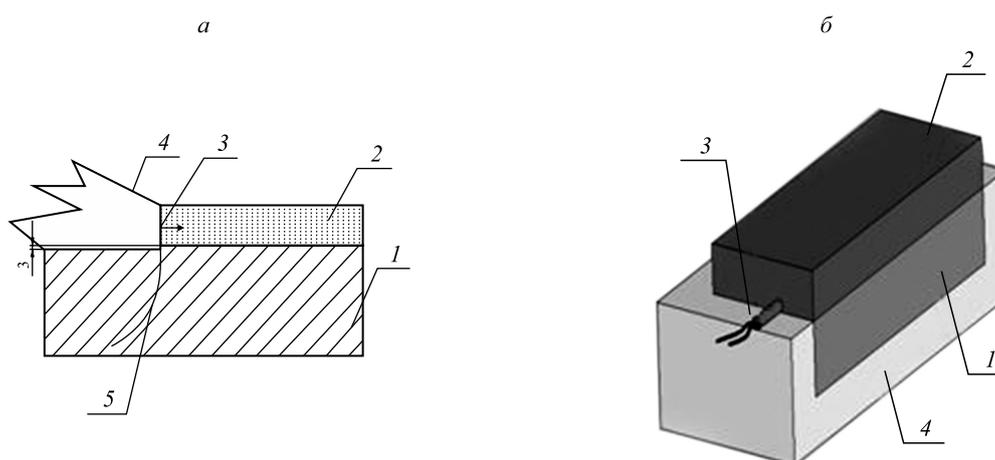


Рис. 1. Схема ударно-волнового нагружения металлической пластины «косой» ударной волной:
а – схема развития детонационного и ударно-волнового фронта в металлической преграде: 1 – обрабатываемый материал, 2 – заряд взрывчатого вещества, 3 – фронт детонации, 4 – область разлета продуктов детонации, 5 – фронт ударной волны;
б – монтажная схема: 1 – металлическая пластина, 2 – заряд взрывчатого вещества, 3 – точка инициирования заряда ВВ, 4 – свинцовый контейнер – «импульсная ловушка»

Для выбора параметров ударно-волнового нагружения были проведены исследования влияния взрывной обработки на структуру и свойства конструкционных сталей. В результате установлено, что главной особенностью воздействия ударных волн на металл является волновой кратковременный характер распространения нагрузки, что приводит к повышению плотности дислокаций, значительному искажению и измельчению зерен, перераспределению остаточных напряжений и росту механических свойств. Все эти преобразования в металлических сплавах происходят в условиях действия «сильных» ударных волн с давлением на фронте порядка 130 кбар и более [4].

Ударно-волновая нагрузка осуществляется под давлением 35–40 кбар при использовании взрывчатого вещества из мелкодисперсного порошка аммиачно-селитрового состава плотностью $\rho_0 = 0,9 \text{ г/см}^3$ со скоростью детонации 2500–3000 м/с. Исследования показали повышение механических характеристик низколегированной конструкционной стали 40X на 15–20 %, а конструкционной стали 55 – на 25–30 %.

Металлографические исследования образцов из стали 55 показали, что при выбранной схеме ударно-волнового нагружения в результате интенсивной пластической деформации под действием ударных волн в структуре наблюдается рост полос скольжения и появляются двойники (рис. 2).

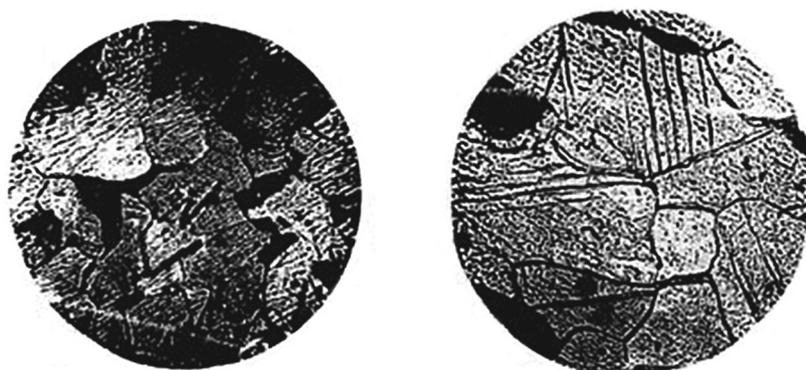


Рис. 2. Структура стали 55 × 600:
а – исходное состояние; б – после ударно-волнового нагружения

Образцы из низколегированной стали 40X подвергались ударно-волновой нагрузке по выбранной схеме с разной интенсивностью деформации. После этого предварительно обработанные ударной волной и необработанные образцы одновременно загружались в печь, где происходило борирование.

Анализ результатов металлографических исследований обработанных образцов показал, что при борировании в глубину металла прорастают иглообразные кристаллы FeB. С увеличением интенсивности деформации наблюдается постепенное слияние этих кристаллов в сплошной слой боридов (рис. 3). Кроме того, установлено, что толщина диффузионного слоя зависит от интенсивности предварительной обработки (глубина легированного слоя увеличилась в 2 раза при значениях импульса 400 Н · с).

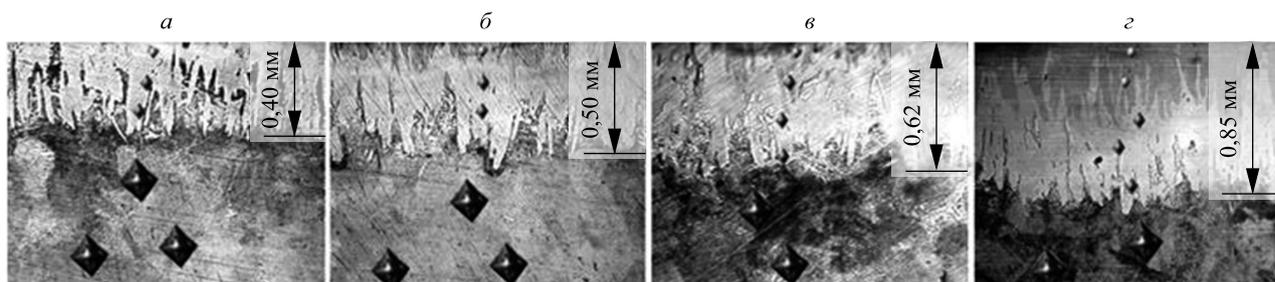


Рис. 3. Микроструктура стали 40X после борирования:
а – исходное состояние; б – после предварительной ударно-волновой обработки (импульс $J = 200 \text{ Н} \cdot \text{с}$);
в – импульс $J = 330 \text{ Н} \cdot \text{с}$; г – импульс $J = 400 \text{ Н} \cdot \text{с}$

Результаты микродюраметрического анализа, приведенные на рис. 4, показали, что характер распределения микротвердости по глубине диффузионного слоя плавный для всех образцов при различных значениях импульса: максимальное значение HV наблюдается на поверхности, а затем плавно снижается от поверхности в глубину образца и достигает значения микротвердости в сердцевине. Установлено, что предварительное ударно-волновое нагружение приводит к увеличению микротвердости борированного слоя примерно в 1,5–1,8 раза.

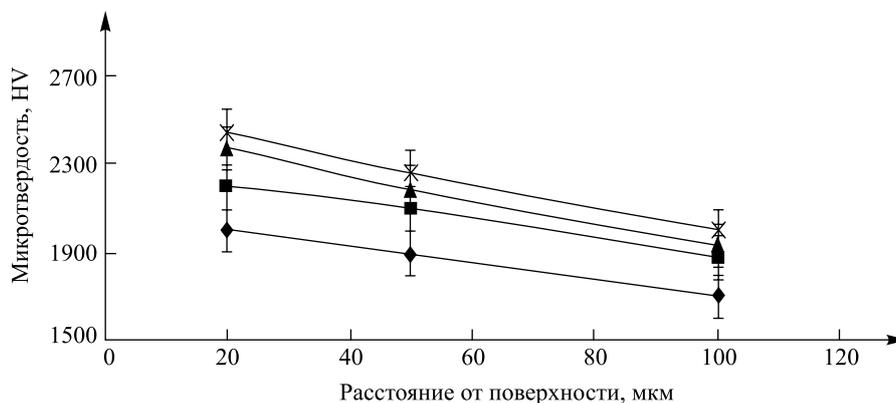


Рис. 4. Зависимость микротвердости борированных слоев от интенсивности предварительного ударно-волнового нагружения:

—◆— $J = 0 \text{ Н} \cdot \text{с}$; —■— $J = 200 \text{ Н} \cdot \text{с}$;
—▲— $J = 330 \text{ Н} \cdot \text{с}$; —×— $J = 400 \text{ Н} \cdot \text{с}$

Рентгенофазовый анализ показал увеличение количества фазы FeB в 2 раза в диффузионном слое образцов после предварительного ударно-волнового нагружения (рис. 5).

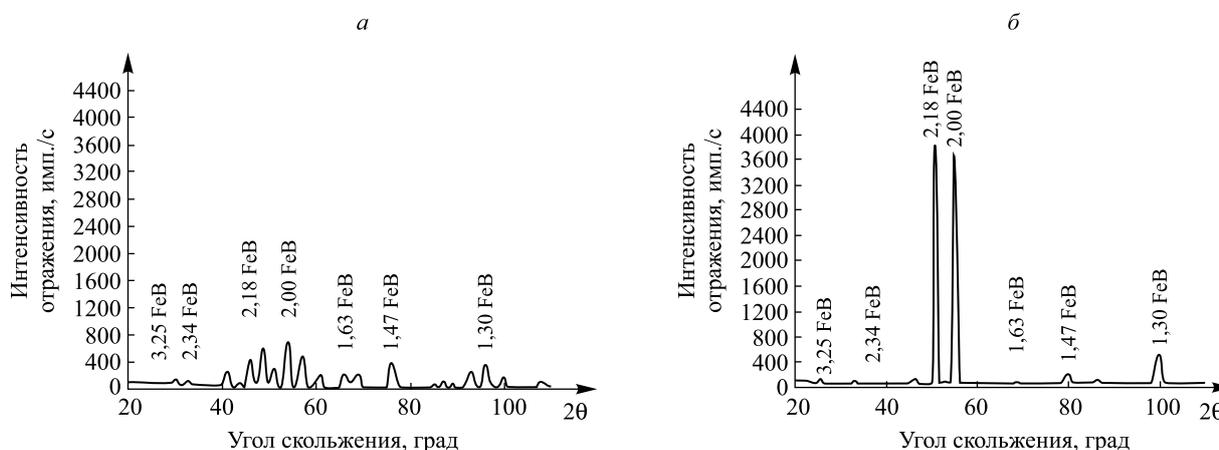


Рис. 5. Сравнение результатов рентгенофазового анализа борированных образцов:
а – борирование без использования предварительного нагружения;
б – борирование после использования ударно-волнового нагружения (импульс 400 Н · с)

По результатам экспериментальных исследований была получена зависимость, которая аппроксимируется прямой (рис. 6) в виде следующего уравнения:

$$h = h_0 + \alpha \cdot \ln \frac{\Delta a}{a_0},$$

где Δa – абсолютная деформация; a_0 – толщина пластины; $\frac{\Delta a}{a_0} = \epsilon$ – величина деформации; h_0 – ис-

ходное значение диффузионного слоя; α – тангенс угла наклона интенсивности роста толщины диффузионного слоя к оси истинной деформации (зависит от природы материала).

Таким образом, впервые установлено, что предварительное ударно-волновое нагружение способствует увеличению толщины легированного слоя в 1,5–2,0 раза, что, в свою очередь, повышает ресурс работы изделия.

Выявлены закономерности формирования структуры и параметров борированного слоя низколегированной конструкционной стали 40X и конструкционной стали 55 в зависимости от интенсивности деформации, вызванной действием ударной волны, которые позволили определить тип и характер распределения структурных составляющих по глубине борированного слоя при использовании усовершенствованной технологии химико-термической обработки.

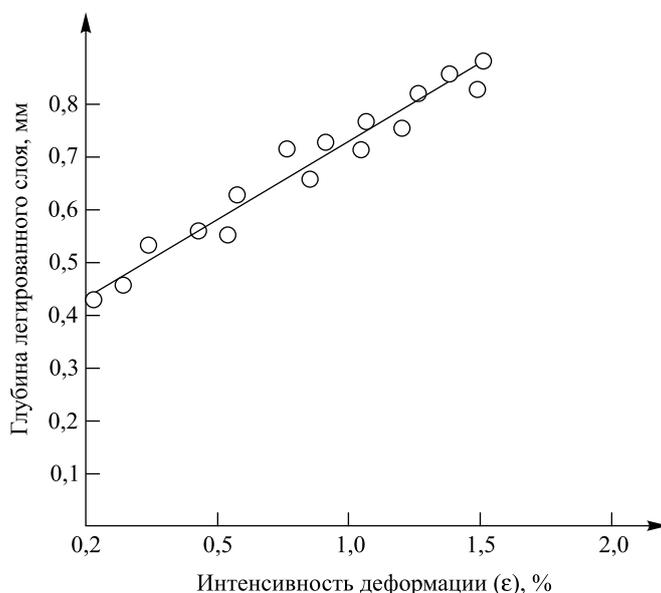


Рис. 6. Зависимость толщины легированного слоя от величины деформации

На основе данных рентгенофазового анализа установлено, что предварительное ударно-волновое нагружение способствует увеличению количества фазы FeV, что, как следствие, приводит к увеличению твердости поверхностного слоя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демченко Л. Д., Надутов В. М., Черепова Ю. С. Влияние предварительной пластической деформации на структуру и свойства азотированных слоев в Fe // Материалы IV Междунар. конф. (ОТТОМ-4) (Харьков, 19–23 мая 2003 г.). Киев, 2003. С. 205–209.
2. Дидык Р. П., Безрукавая В. А., Грязнова Л. В., Лисняк А. Г. Влияние предварительной ударно-волновой обработки на параметры борирования низколегированной стали // Металлофизика и новейшие технологии. 2008. Т. 30, № 9. С. 1289–1295.
3. Ударные волны и явления высокоскоростной деформации металлов / под ред. М. А. Мейерса, Л. Е. Мурра ; пер. с англ. М., 1984.
4. Эпштейн Г. Н., Кайбышев О. А. Высокоскоростная деформация и структура металлов. М., 1971.

Поступила в редакцию 31.03.2015.

Виктория Анатольевна Козечко – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии горного машиностроения Национального горного университета (г. Днепропетровск, Украина).

УДК 621.38(075)

К. О. ЯМНЫЙ, В. Е. ЯМНЫЙ, В. С. ЦЫМБАЛ

СИСТЕМА ИНТРОСКОПИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕТАТРОНА

Разработаны принципы повышения эффективности детектирующей аппаратуры для интроскопии крупногабаритных объектов с помощью источников излучения малой интенсивности. Принципы применены при разработке детектора ионизирующего излучения, создании практической системы интроскопии, разработке программного обеспечения для получения теневого изображения сканируемого объекта и минимизации аппаратных шумов системы интроскопии. Показано, что сцинтиллятор CsI(Tl) является оптимальным типом сцинтилляционного материала для решения задачи максимизации соотношения «сигнал – шум» детектора системы интроскопии с бетатроном. Разработан детектор, рентгеночувствительность которого составила более 1550 нКл/Р, что превышает значение рентгеночувствительности известных аналогов. Проведены экспериментальные исследования разработанной системы для подтверждения эффективности предлагаемых в работе принципов построения аппаратуры. Проникающая способность системы интроскопии с бетатроном энергии 5 МэВ составила ~250 мм при разрешающей способности 5 мм и скорости движения контролируемого объекта до 5 км/ч.

Ключевые слова: система интроскопии; бетатрон; детектор ионизирующего излучения.

Developed principles to improve the efficiency of the detection apparatus for scanning of large objects using a low-intensity radiation sources. These principles are applied in the development of radiation detectors, creating a practical introscopy system, software development for shadow image of the scanned object and minimize system noise scanning hardware. It is shown that the scintillator CsI(Tl) is the best type of material for solving the problem of maximizing the «signal – noise» ratio of the detector imaging system with a betatron. Designed detector the sensitivity which amounted to more than 1550 nC/R, which exceeds the value of the