

УДК 669.017:669.15-194.018.26
DOI: 10.15587/2313-8416.2015.41365

КОМПЛЕКСНАЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

© В. А. Козечко

Работа направлена на определение параметров предварительной ударно-волновой обработки с целью интенсификации процессов химико-термической обработки; установлению взаимных связей между глубиной легированного слоя и интенсивностью предварительной ударно-волновой обработки, а также для повышения ресурса деталей из конструкционных сталей. Впервые экспериментально установлены закономерности изменения параметров зоны насыщения в процессе химико-термической обработки стали от интенсивности пластической деформации

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 treatment 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 are experimentally determined for change the saturation zone in the chemical and thermal treatment from intensity of plastic deformation

Keywords: shock-wave load, boron saturation, nitrogen saturation, diffusion, alloyed layer thickness, microstrength, durability, mechanical properties

1. Введение

Расширение спроса на машиностроительную продукцию и услуги в условиях современного рынка требуют от производителей увеличения ресурса работы изделий и повышения их надежности. На сегодняшний день на большинстве машиностроительных предприятий Украины широко применяется технология химико-термической обработки (ХТО) с целью повышения эксплуатационных характеристик деталей, работающих в условиях агрессивной среды и интенсивного износа. В связи с тем, что повышается дефицит высоколегированных инструментальных материалов, жаропрочных сплавов и нержавеющей сталей, роль химико-термической обработки будет с каждым годом возрастать. Значительный вклад в развитие и усовершенствование теории и практики химико-термической обработки внесли О. Н. Минкевич, М. С. Горбунов, И. М. Спиридонова, Б. М. Арзамасов, Л. В. Воронин и др.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Анализ работ, направленных на повышение производительности процессов химико-термической обработки, свидетельствует о том, что наряду с традиционными исследованиями в этой области ведется поиск в направлении интенсификации диффузионных процессов за счет предварительных способов обработки (ультразвук, термомеханическая обработка, объемная пластическая деформация) [1].

Впервые в работе проведены и представлены исследования влияния высокоэнергетических источников энергии на конструкционные стали с целью повышения производительности химико-термической обработки, что значительно расширяет потенциал и возможности альтернативных технологий [2]. Однако, наряду с этим, отсутствует исследования и

разработки в области исследования ударно-волнового воздействия на металлические материалы, используемые 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, повышения ресурса изделий с помощью высокоэнергетической обработки является важными и актуальными.

3. Цель и задачи исследования

Основной целью работы является исследование закономерностей влияния ударно-волнового нагружения и последующей химико-термической обработки на параметры диффузионной зоны насыщения, фазовый состав, комплекс механических и эксплуатационных свойств конструкционных сталей.

4. Материалы и методы исследований

В качестве модельного материала для исследования была выбрана, низколегированная сталь 40Х, в нормализованном состоянии, пластины из которой размерами 20×70×150 мм подвергались контактному взрыву зарядом аммонита 6ЖВ с начальными параметрами: $\rho \sim 1 \text{ г/см}^3$, $D \sim 4000 \text{ м/с}$, где ρ – начальная плотность заряда ВВ, D – скорость детонации. Толщина заряда задавалась равной соответственно 15, 25, 30 мм, что позволило регулировать величину взрывного импульса [5]. Используя условные равенства давления в направлении линии тока для продуктов взрыва и металла на границе их раздела, путем наложения ударных поля, определена зависимость величины давления от угла встречи детонационной волны с поверхностью стали [6]. Значение давления $P \sim 3,5 \text{ ГПа}$ на границе – «ВВ-металл» опре

делено для фиксированного угла падения детонационного фронта равного $\beta=90^\circ$. Для предотвращения действия волн разгрузки пластины размещали в свинцовом контейнере.

Использование энергии высокой плотности, источниками которых является детонация конденсированных взрывчатых веществ, энергия высоковольтных разрядов в жидкости, магнитных полей высокого напряжения, мощных лазерных генераторов и плазмотронов которые способны создавать экстремальные параметры давления и температур, с высокой эффективностью используются в процессах металлообработки и создании новых материалов - следует рассматривать как одно из достижений науки и техники последних десятилетий. [3]

Условие взрывного нагружения в экспериментах, соответствовало обработке металлической пластины «косой» ударной волной по схеме приведенной на рис. 1.

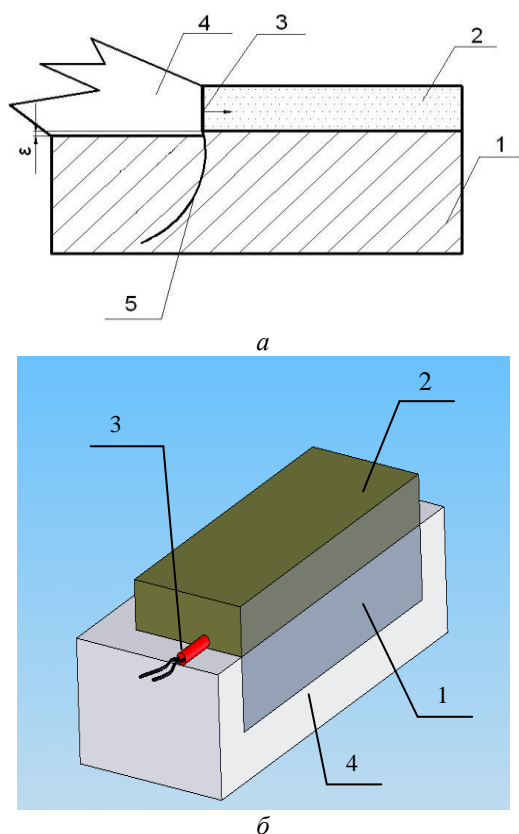


Рис. 1. Схема ударно-волнового нагружения металлической пластины «косой» ударной волной: *a* – схема развития детонационного и ударно-волнового фронта в металлической преградой: 1 – металлическая поверхность; 2 – заряд взрывчатого вещества; 3 – фронт детонации; 4 – область разлета продуктов детонации;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

Поверхностные слои металла исследовали с помощью металлографического и микродюретрического методов анализа. Микродюретрический анализ по

глубине диффузионных слоев проводился по стандартной методике на приборе ПМТ-3 с нагрузкой 50 г. Металлографические исследования были проведены на оптическом микроскопе «Neophot-22».

5. Интенсификация процесса борирования

Параметры ударно-волнового нагружения соответственно к условиям их осуществления составляют: давление – 35 ... 40 кбар при использовании взрывчатого вещества из мелкодисперсного порошка аммиачно-селитрового состава со скоростью детонации 2500 ... 3000 м/с при существенной плотности $\rho_0=0,9 \text{ г/см}^3$. Исследования показали повышение механических характеристик конструкционной стали 55 на 25...30 %.

В результате металлографических исследований металлических образцов конструкционных сталей было установлено, что при выбранной схеме ударно-волнового нагружения структура характеризуется значительным ростом полос скольжения, появляются двойники в результате интенсивной пластической деформации под действием ударных волн. Схема раскроя пластин для металлографических исследований приведена на рис. 2, 3.

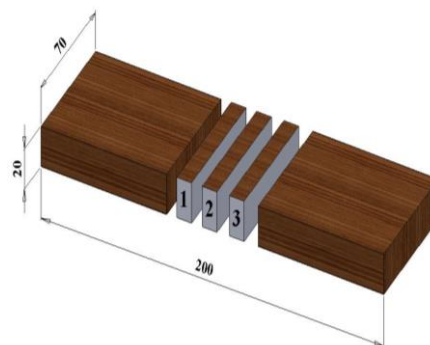


Рис. 2. Схема раскроя пластины из конструкционной стали после ударно-волнового нагружения для металлографических и трибологических исследований

Образцы из низколегированной стали 40Х 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 бора. С увеличением интенсивности деформации наблюдается постепенное слияние этих кристаллов в сплошной слой (рис. 4). Кроме того установлено, что толщина диффузионного слоя зависит от интенсивности предварительной обработки, т. е. с глубиной легированного слоя увеличилась в 2 раза при значениях импульса 400 Н·с.

На рис. 5 приведены результаты микродюретрического анализа, которые показали, что характер распределения микротвердости по глубине диффузионного слоя более однородный для всех образцов при различных значениях импульса: максимальное значение H_V достигается на поверхности, а затем постепенно снижается от поверхности в глубину образца и достигает микротвердости сердцевины.



Рис. 3. Структура стали 55 после взрывной обработки при разных положениях фронта детонации, $\times 600$:
a – исходное состояние; *б* – обработка при $\beta=90^\circ$

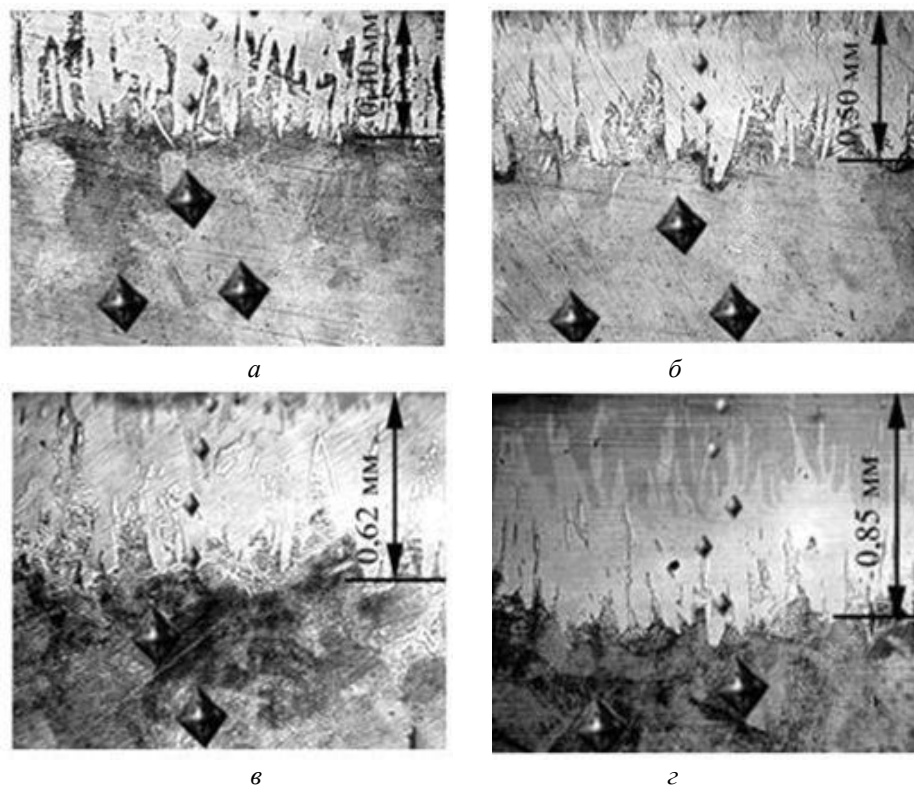


Рис. 4. Микроструктура стали 40X после борирования: *a* – исходное состояние;
б – после предварительной ударно-волновой обработки (импульс $I=200$ H·c); *в* – импульс $I=330$ H·c;
г – импульс $I=400$ H·c

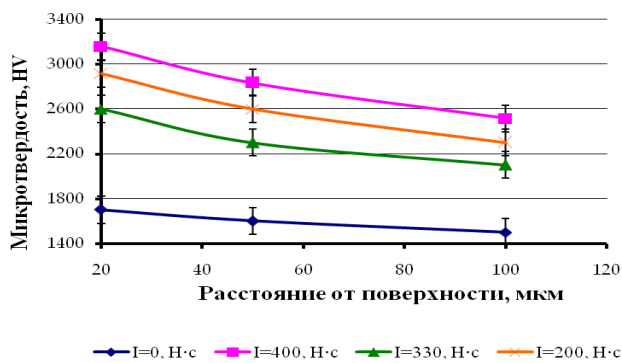


Рис. 5. Зависимость микротвердости борированных слоев от величины импульса

Переход к сердцевине носит плавный характер. Установлено, что предварительное ударно-волновое нагружение приводит к увеличению микротвердости борированного слоя примерно в 1,5... 1,8 раза.

Рентгеноструктурный анализ показал, что предварительное ударно-волновое нагружение приводит к образованию большого количества твердой фазы FeV, что в свою очередь способствует повышению микротвердости поверхностного слоя (рис. 6).

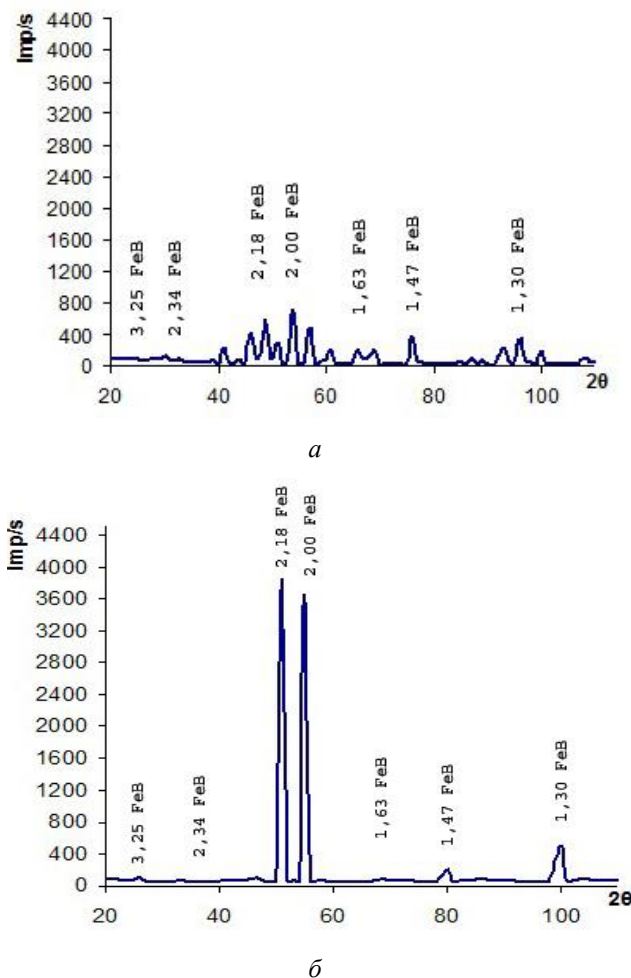


Рис. 6. Сравнение результатов рентгеноструктурного анализа борированных образцов обработанных по различной методике: *a* – борирование без использования предварительного нагружения; *б* – борирование после использования ударно-волнового нагружения (импульс 400 Н·с)

Экспериментальные исследования позволили установить закономерность изменения толщины легированного слоя в зависимости от параметров истинной деформации. По результатам исследований получена зависимость, которая аппроксимирована прямой (рис. 7) в виде следующего уравнения:

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

где Δa – абсолютная деформация; a_0 – толщина пластины; h_0 – исходное значение легированного слоя; α – тангенс угла наклона.

На базе ОАО «Днепропетровский агрегатный завод» были проведены промышленные испытания разработанного метода комбинированной химико-термической обработки. Результаты исследований показали, что использование предварительной ударно-волновой позволяет снизить энергоёмкость процесса на 25...30% за счет сокращения времени насыщения (приблизительно в 2...2,5 раза) при значительном увеличении толщины диффузионного слоя.

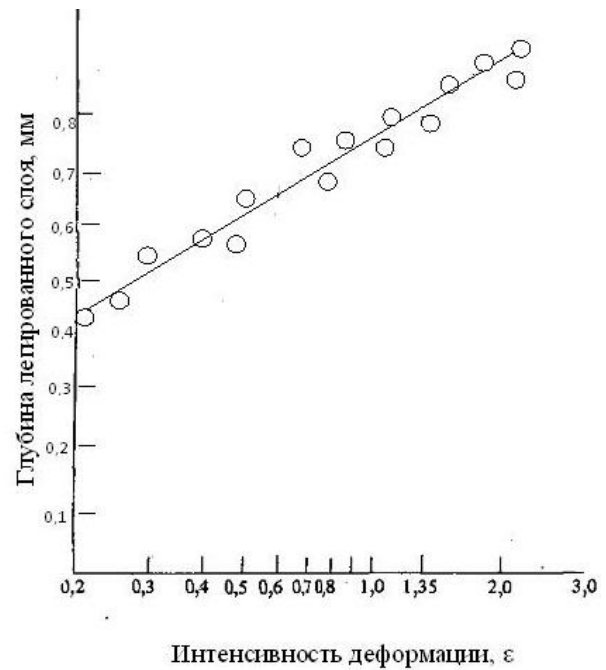


Рис. 7. Зависимость толщины легированного слоя от интенсивности деформации

6. Выводы

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

2. На основе данных рентгеноструктурного анализа установлено увеличение количества твердой фазы FeB, что приводит к увеличению твердости поверхностного слоя.

3. Впервые установлено, что предварительное ударно-волновое нагружение способствует увеличению толщины легированного слоя в 1,5...2 раза, что в свою очередь повышает ресурс работы изделия.

Литература

1. Демченко, Л. Д. Влияние предварительной пластической деформации на структуру и свойства азотированных слоев в Fe [Текст] / Л. Д. Демченко, В. М. Надутов, Ю. С. Черепова. – ОТТОМ-4. К., 2003. – С. 205–209.
2. Дидык, Р. П. Влияние предварительной ударно-волновой обработки на параметры борирования низколегированной стали [Текст] / Р. П. Дидык, В. А. Безрукавая, Л. В. Грязнова, А. Г. Лисняк // Металлофизика и новейшие технологии. – 2008. – Т. 30, № 9. – С. 1289–1295.
3. Ударные волны и явления высокоскоростной деформации металлов [Текст] / под ред. М. А. Мейерса, Л. Е. Мурра; пер. с англ. – М.: Металлургия, 1984. – 512 с.
4. Эпштейн, Г. Н., Кайбышев О.А. Высокоскоростная деформация и структура металлов [Текст] / Г. Н. Эпштейн, О. А. Кайбышев. – М.: Металлургия, 1971. – 196 с.
5. Станюкович, К. П. Неустановившиеся движения сплошной среды [Текст] / К. П. Станюкович. – М.: Физмат, 1971. – 524 с.

6. Дидык, Р. П. Эффект взрывного упрочнения металлов в зависимости от положения фронта детонации [Текст] / Р. П. Дидык. – Металлофизика и новейшие технологии. К., 1997. – С. 18–26.

References

1. Demchenko, L. D., Nadutov, V. M., Cherepova, Ju. S. (2003). Vlijanie predvaritel'noj plasticheskoj deformacii na strukturu i svojstva azotirovannyh sloev v Fe [Effect of preliminary plastic deformation on the structure and properties of nitrated layers in Fe]. OTTOM-4. Kiev, 205–209. [in Russian]
 2. Didyk, R. P., Bezrukavaja, V. A., Grjaznova, L. V., Lisnjak, A. G. (2008). Vlijanie predvaritel'noj udarno-volnovoj obrabotki na parametry borirovaniya nizkolegirovannoj stali [Influence of pre-shock-wave treatment on the parameters of low-alloy steel Boriding]. Metallofizika i novejschie tehnologii [Metal Physics and Advanced Technology], 30 (9), 1289–1295. [in Russian]

3. Mejersa, M. A., Murra, L. E. (Eds.) (1984). Udarnye volny i javlenija vysokoskorostnoj deformacii metallov [Shock waves and the phenomenon of high-speed deformation of metals]. Moscow.: Metallurgija [Metallurgy], 512. [in Russian]

4. Jepshtejn, G. N., Kajbyshev, O. A. (1971). Vysokoskorostnaja deformacija i struktura metallov [High-speed deformation and structure of metal]. Moscow.: Metallurgija [Metallurgy], 196. [in Russian]

5. Stanjukovich, K. P. (1971). Neustanovivshiesja dvizhenija sploshnoj sredy [Unsteady motion of a continuum]. Moscow: Fizmat, 524. [in Russian]

6. Didyk, R. P. (1997). Jeffect vzryvnogo uprochnenija metallov v zavisimosti ot polozenija fronta detonacii [The effect of the explosive hardening of metals depending on the position of the detonation front] Metallofizika i novejschie tehnologii [Metal Physics and Advanced Technology]. Kiev, 18–26. [in Russian]

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Проців В. В.
 Дата надходження рукопису 30.03.2015*

Козечко Виктория Анатольевна, доцент, кандидат технических наук, кафедра технологии горного машиностроения, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», пр. К. Маркса, 19, г. Днепропетровск, Украина, 49000
 E-mail: kozechko@list.ru

УДК:621.396

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.40958

USING ADAPTIVE ANTENNA ARRAY IN LTE WITH MIMO FOR SPACE-TIME PROCESSING

© Ali Abdourahamane Ahmed

The actual methods of improvement the existent wireless transmission systems are proposed. Mathematical apparatus is considered and proved by models, graph of which are shown, using the adaptive array antenna in LTE with MIMO for space-time processing. The results show that improvements, which are joined with space-time processing, positively reflects on LTE cell size or on throughput

Keywords: throughput, pattern, attenuator of signal, adaptation, LTE, MIMO

Запропоновані фактичні методи удосконалення існуючих систем безпроводної передачі. Математичний апарат розглядається і доводиться моделями, графіками, що показані, використовуючи адаптивну антенну решітку в LTE з MIMO для просторово-часової обробки. Результати показують, що поліпшення, які пов'язані з просторово-часовою обробкою, позитивно відбиваються на розмірі ячеї LTE або на продуктивності

Ключові слова: пропускна здатність, шаблон, атенюатор сигналу, адаптація, LTE, MIMO

1. Introduction

This work describes the problems of wireless transmission process in LTE system and gives effective way to overcome these problems and improve the existent transmission criterions by innovative method. This method lies in a using special kind of antennas which calls phased antenna array. Using this kind of antennas is not new for telecommunication sector but modern LTE system is not use it, probably because lack of observation. This thesis makes an accent on usefulness for LTE this mechanism and adaptation of antenna array algorithm. Phased arrays makes available to detect and attenuate the different irrelevant influences in a case when a priori information about noise environment is absent. In LTE the problem of lack of SNR (Signal – to – Noise

Ratio) is still actual for an expanding the cell area or increasing throughput. With the SNR values less than 10...15 dB the probability of receiving error increases and the throughput is decrease. The widely used methods of coding gives possible to increase the energetic of radio line u to 3 dB. But usually it is not enough, in this situation, one of the solution of this task could be using of phased. Analyzes of the operation of MIMO technology to LTE physical layer shown that for efficient operation of the communication system requires a channel with a sufficiently high value of signal/noise ratio h^2 of about 20 dB or more, which in practice is not always attainable, especially when plural character of interarction of radiating elements (nalichin multiple interference). For values h^2 less than 10 ... 15 dB increases dramatically the prob-