

### Список литературы

1. Корнієнко В.І. Ідентифікація нелінійних процесів по часових реалізаціях / В.І. Корнієнко, Д.Ю. Скриль // Науковий вісник НГУ. – 2009. – № 3. – С. 85-89.
2. Кузнецов Г.В. Композиційна структурно-параметрична ідентифікація нелінійних динамічних об'єктів керування / Г.В. Кузнецов, В.І. Корнієнко, О.В. Герасіна // Наукові вісті НТУУ КПІ. – 2009. – № 5. – С. 69-75. – ISSN 1810-0546.
3. Ljung L. Identification of Nonlinear Systems / L. Ljung // Proceeding of the IEEE. – 2006. – № 6. – P. 1-10.
4. Федер Е. Фракталы / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
5. Кузнецов С.П. Динамический хаос / С.П. Кузнецов – М.: Физматлит, 2002. – 296 с.
6. Шустер Г. Детерминированный хаос. Введение / Г. Шустер – М.: Мир, 1988. – 256 с.
7. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского, - М.: Наука, 1987. – 712 с.
8. Герасина А.В. Идентификация объектов управления в АСУТП рудоподготовки / А.В. Герасина, В.И. Корниенко // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2010. – № 10. – С. 102-106. – ISSN 2071-2227.
9. Герасина А.В. Идентификация режимов работы нелинейных процессов рудоподготовки / А.В. Герасина, В.И. Корниенко // Гірничя електромеханіка та автоматика: Наук. – техн. зб. – 2010. – Вип. 85 – С. 82-90. – ISSN 0201-7814.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесарєвим В.В.  
Надійшла до редакції 16.06.11*

УДК 621.787.044

© Л.В. Грязнова, А.Г. Лисняк

## **СФЕРОИДИЗАЦИЯ ПЕРЛИТА В СТАЛИ ПРИ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКЕ**

В работе исследовано влияние параметров ударно волнового нагружения на микроструктуру легированной стали. При обработке сталей ШХ15 и 55ХФА обнаружено явление динамической сфероидизации перлита, происходящее во время прохождения ударной волны, генерируемой двухслойным зарядом взрывчатого вещества..

У роботі досліджений вплив параметрів ударно хвильового навантаження на микроструктуру легованої сталі. При обробці сталей ШХ15 і 55ХФА виявлене явище динамічної сфероидизації перліту, що відбувається під час проходження ударної хвилі, генеруємою двошаровим зарядом вибухової речовини.

In this work influence of parametres of impact waves on a microstructure of the alloyed steel was investigated .After processing of steels ШХ15 and 55ХФА is investigated the phenomenon dynamic sferoidization in pearlit, an event is revealed during passage of the shock wave generated by a two-layer charge of explosion.

**Введение.** Углеродистые и легированные инструментальные и шарикоподшипниковые стали часто, подвергают сфероидизирующему отжигу на зернистый перлит. Сталь с такой структурой обладает наименьшей твердостью и легче обрабатывается резанием. Кроме того, зернистый перлит является оптимальной исходной структурой под закалку, т.к. имеет меньшую склонность к росту аусте-

нитного зерна при нагреве, шире допустимый интервал закалочных температур, меньшую склонность к растрескиванию при закалке.

Сфероидизирующий отжиг является диффузионным процессом, поэтому является достаточно длительным и, следовательно, весьма энергоемким. Энергосбережением обусловлена актуальность разработок, направленных на сокращение длительности диффузионных процессов термической обработки, в частности - сфероидизации.

Установлено, что предварительная деформация, существенно увеличивающая количество дислокации и вакансий, способствует диффузионным процессам и приводит к сокращению времени сфероидизации. Однако предварительное деформирование деталей связано с рядом технологических трудностей, в частности, недопустимо высокой степенью деформации. В то же время известно, что обработка ударными волнами позволяет значительно увеличить количество дефектов в кристалле без заметной макродеформации [1]. Это послужило основанием к проведению экспериментов по изучению влияния предварительного ударно-волнового нагружения на кинетику последующей сфероидизации цементита.

**Результаты исследования.** В данной работе представлены результаты экспериментов по обработке стали ШХ15 и стали 55ХФА ударными волнами с различными параметрами. Цилиндрические образцы подвергались ударно-волновой обработке по двум схемам, приведенным на рис. 1.

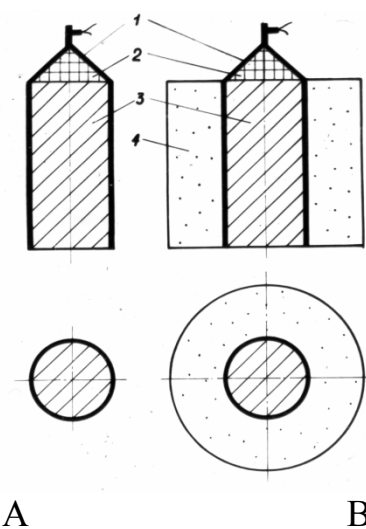
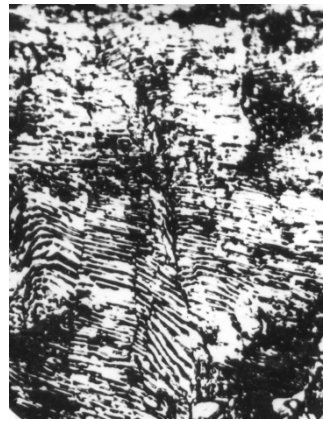
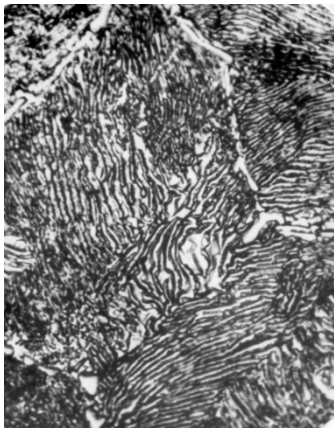


Рис.1. Схема нагружения: А- однослойным зарядом ,В- двухслойным зарядом  
1- высокоскоростное ВВ, 2-инертная вставка, 3- образец, 4 –низкоскоростное ВВ.  
2-

Отличие их состоит в том, что при нагружении по схеме 1В используется двухслойный заряд взрывчатого вещества (ВВ), в котором 1-й, контактный с обрабатываемым металлом, слой идентичен высокоскоростному заряду схемы А, а второй, наружный слой, представляет из себя низкоскоростное ВВ. Скорость детонации слоев, соответственно:  $D_1 \sim 7600 \text{ м/с}$ ,  $D_2 \sim 4200 \text{ м/с}$  [2].



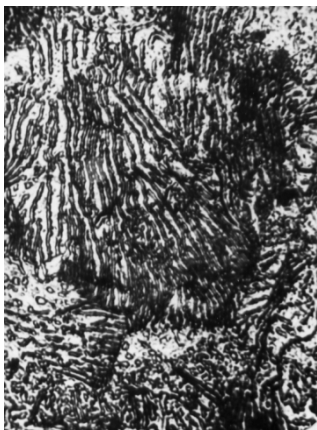
А

Б

В

Рис.2. Сталь ШХ15. А - горячекатаная, Б - обработка однослойным зарядом, В - обработка двуслойным зарядом ВВ. Увеличение - 1000.

Образцы в исходном состоянии имели структуру пластинчатого перлита с цементитной сеткой по границам зерен (рис.2А, рис. 3А). После ударно-волнового нагружения были проведены сравнительные металлографический и рентгеноструктурный анализы сталей.



А

Б

В

Рис.3. Сталь 55ХФА. А - горячекатаная, Б - обработка однослойным зарядом, В - обработка двуслойным зарядом. Увеличение -1000

Было установлено, что после нагружения однослойным зарядом ВВ структура стали изменилась незначительно: в перлитных зернах, расположенных у поверхности нагружения, произошли сдвиги отдельных частей зерна (рис.2Б, рис. 3Б). Линии сдвига практически параллельны друг другу; часть из них выходит на поверхность металла, часть локализуется в теле зерна.

При нагружении двухслойным зарядом ВВ в микроструктуре стали отмечены значительные изменения — наряду с пластинчатым перлитом образовались участки зернистого перлита. Цементитная сетка преобразовалась в цепочку округлых частиц (Рис.2 В, Рис.3 В). Таким образом, неожиданно было обнаружено

явление сфероидизации эвтектоидного и структурно-свободного цементита в ударной волне, генерируемой двухслойным зарядом ВВ.

В работе [3] описано явление динамической сфероидизации цементита, происходящее при деформации стали прокаткой при субкритической температуре. Однако деформационные процессы, происходящие на фронте ударной волны, протекают со скоростями на порядки большими, чем при традиционных процессах ОМД. Действительно, после обработки однослойным зарядом сфероидизация не наблюдалась. Изменения в конфигурации фронта и продолжительности действия ударной волны, имеющие место при схеме обработки двухслойным зарядом ВВ, сделали возможным сфероидизацию цементитных пластин перлита.

По мнению авторов, такую динамическую сфероидизацию можно объяснить следующим образом.

Известно, что скорость диффузии резко увеличивается в ударной волне. Это связано с образованием большого количества дефектов, как точечных, так и линейных [1]. Важнейшим параметром для диффузии и фазовых превращений является давление в ударной волне. Чем выше давление, тем выше плотность дефектов. Влияние же длительности импульса на плотность дислокаций незначительно, но весьма существенно для перестройки дислокационной структуры. С увеличением длительности импульса происходит переход от клубковых скоплений к ячеистой структуре [1]. Таким образом, время действия импульса является критическим фактором для фазовых превращений в металлах.

При сфероидизации цементита в диффузионном процессе участвуют атомы углерода и железа; при этом атомы углерода движутся по междоузлиям и дислокационным трубкам, а железа – по вакансиям.

Поскольку, при ударно-волновом нагружении количество вакансий может достигать  $\sim 10^5 \text{ см}^{-3}$ , а плотность дислокаций  $\sim 10^{11} \text{ см}^{-2}$ , то есть все условия для интенсификации процесса диффузии по дислокациям. По видимому работают и особые механизмы интенсивной диффузии в ударных волнах, представленные в работе [4].

Кроме того при ударно-волновом нагружении наблюдается чрезвычайно высокая скорость деформации ( $10^6 - 10^9 \text{ с}^{-1}$ ), которая вызывает нагрев до высокой температуры в ударной волне (до  $1000^\circ \text{C}$ ), что также способствует ускорению процесса диффузии.

В нашем эксперименте при нагружении однослойным зарядом ВВ процесс сфероидизации цементита не происходит, что можно объяснить недостатком времени действия пикового давления ( $\sim 2 \text{ мкс}$ ). При нагружении двухслойным зарядом ВВ происходит изменение динамики прохождения ударной волны, в частности, увеличение времени действия пикового давления в два – три раза [2].

Можно предположить, что высокое давление, наряду с высокой температурой, в первую очередь приводят к  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращению ферритных прослоек перлита. Присутствие большого количества дефектов активизирует диффузионные процессы как в аустенитных прослойках, так и в цементных пластинах. В силу повышенной поверхностной энергии цементитные пластины начинают интенсивно дробиться. Это связано также с пластической деформацией цементитных пла-

стин в ударной волне и образованием субграниц, способствующих их делению. Происходит деление цементитных пластин также и в местах повышенной плотности дислокаций. Поскольку скорость диффузии углерода в аустените в десятки раз больше, чем в феррите, сфероидизация цементита в окружении аустенита идет быстро и успевает пройти, пока существуют температурно-временные параметры, достаточные для сфероидизации.

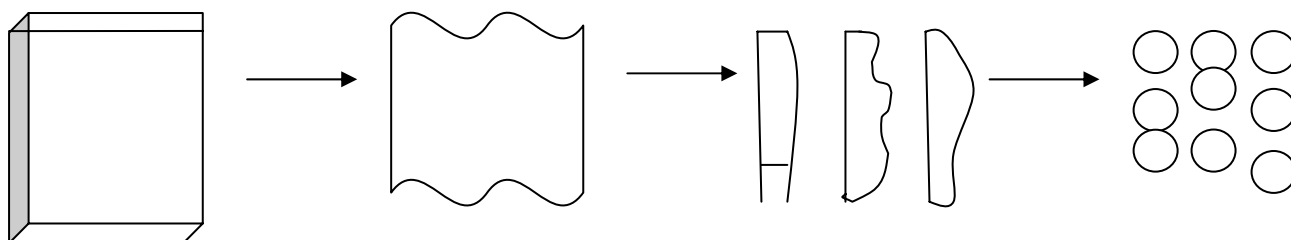


Рис.4. Стадии превращения цементитных пластин в сферические частицы.

Цементитные пластины преобразуются путем растворения и разделения пластин, дальнейшего разделения продолговатых частиц и сфероидизации. Схема последовательного разделения и сфероидизации, по мнению авторов, представлена на рис.4.

После прохождения пикового давления и снижения температуры происходит обратное превращения  $\gamma \rightarrow \alpha$ .

Процесс сфероидизации при прохождении ударной волны по металлу в литературе не упоминается и получен в наших экспериментах только при обработке стали 2-х слойным зарядом ВВ. Отсюда следует, что волновая конфигурация и время действия ударной волны при этой схеме создают условия для сфероидизации цементита. Следует подчеркнуть, что продолжительность обработки ударной волной примерно в  $10^8$  раз меньше, чем обычно требуется для процесса сфероидизации при обычной термообработке.

Результаты рентгеноструктурного анализа стали ШХ15 подтверждают различие в действии примененных схем ударно-волнового нагружения: так плотность дислокаций составляет 1,7 и  $1,87 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$ , значения микронапряжений III рода 1,72 и  $0,6 \times 10^{-3}$ , а величина блоков 6,5 и  $4 \times 10^{-6} \text{ см}$  для схем нагружения однослойным и двухслойным зарядом соответственно. Для стали 55ХФА наблюдается аналогичная зависимость.

Это подтверждает факт более равномерного распределения дефектов при нагружении двухслойным зарядом ВВ, что однозначно связано с временной составляющей импульса ударной волны.

**Выводы.** Авторами впервые обнаружено явление динамической сфероидизации цементита в ударной волне, генерируемой двухслойным зарядом ВВ, которое может быть использовано для интенсификации процессов термической обработки машиностроительных сталей.

#### Список литературы

1. Ударные волны и явления высокоскоростной деформации металлов /под ред. М.А. Маерса и Л.Е. Мура. –М.: Металлургия,1984.
2. Возможный механизм действия двухслойного заряда ВВ при взрывном упрочнении металла. /Дидык Р.П., Сменюк Е.А., Грязнова Л.В. ,Усов О.Я. //Физика горения и взрыва.-1980.- №1.- С.120-126.
3. Долженков И.Е., Долженков И.И. Сфероидизация цементита. -М.: Металлургия, 1984.
4. К теории аномально высокой скорости диффузии в металлах при ударных воздействиях. //ФММ.- Т. 107.- N4.- 2009.- С.353-363.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Дриженком А.Ю.  
Надійшла до редакції 11.05.11*

УДК 620.178.5

© В.М. Кравченко, В. А. Сидоров, В. В. Буцукин

### **ЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА МЕХАНИЗМОВ**

В работе рассмотрен и обобщен опыт в области органолептической звуковой диагностики узлов механизмов

У роботі розглянуто і узагальнено досвід в області органолептичної звукової діагностики вузлів механізмів

The paper reviewed and summarized the experience in organoleptic sound diagnostic nodes mechanisms

Неплановые остановки горного оборудования вследствие аварий и поломок элементов его механизмов приводит к существенным экономическим потерям, связанным как с дополнительными затратами на неплановую замену узлов так и с потерями добычи. Одним из перспективных способов предотвращения нештатного развития технологических процессов, могущего привести к этим вредным и опасным последствиям, является использование мониторинга состояния как собственно процесса, осуществляемого при помощи оборудования, так и состояния самого оборудования методами технической диагностики. Несмотря на активное внедрение в современное горное оборудование автоматизированных систем контроля, основанных на разного рода датчиках, органолептические методы оценки технического состояния механизмов остаются важной составной частью повседневной работы специалистов, обслуживающих оборудование в процессе эксплуатации [1, 2]. Одним из широко употребляющихся направлений органолептического контроля является оценка технического состояния механизмов на основе анализа шумов, возникающих при их работе.

Аналізу известных методов оценки состояния механизмов на основе шумов, возникающих при их работе, включая органолептические, посвящено значительное количество публикаций и нормативных документов, рассмотренных в [1-4]. Однако рассмотрению комплексного использования органолептических методов звуковой диагностики до настоящего времени достаточного внимания не уделялось [3].