

УДК 539.375.5

Исследование влияния концентрации углерода на структуру и свойства сталей при взрывном разрушении

Фахуртдинов Равел Садртдинович^{1(*)}

ravelf@bmstu.ru

Грязнов Евгений Федорович¹

gryaznovef@bmstu.ru

Медведев Павел Николаевич²

fishhead@yandex.ru

Однороб Ада Валерьевна¹

adelineodnorob@gmail.com

Гресс Марина Алексеевна¹

gressma75@gmail.com

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия² НИЦ «Курчатовский институт» — ВИАМ, Москва, Россия

Аннотация. Цилиндрические трубчатые оболочки из сталей 10, 45 и 60, 110Г2С разрушались под действием взрыва со скоростью деформации $(0,5-0,6) \times 10^5 \text{ с}^{-1}$. С помощью комплекса методов исследований найдена зависимость микроструктуры, микротвердости, и микронапряжений от концентрации углерода в сталях, разрушенных взрывом. Разрушение взрывом приводит к формированию структуры деформации, которая отличается неравноосной формой зерна. С увеличением концентрации углерода с 0,1 до 0,6 снижаются микронапряжения и микротвердость; при концентрации 1,1 % — наблюдается рост этих показателей. Эти зависимости можно объяснить влиянием процессов полигонизации и рекристаллизации.

Ключевые слова: взрыв, влияние концентрации углерода, структура стали, упрочнение металлов, микротвердость

Study of the influence of strain rate during an explosion on the structure and properties of steel

Fahurtdinov Ravel Sadrtdinovich^{1(*)}

ravelf@bmstu.ru

Gryaznov Evgeny Fedorovich¹

gryaznovef@bmstu.ru

Medvedev Pavel Nikolaevich²

fishhead@yandex.ru

Odnorob Ada Valeryevna¹

adelineodnorob@gmail.com

Gress Marina Alekseevna¹

gressma75@gmail.com

¹ BMSTU, Moscow, Russia² Kurchatov Institute — VIAM, Moscow, Russia

Abstract. Cylindrical tubular shells made of 10, 45, and 60, 110G2C steels were destroyed by an explosion at a deformation rate of $(0.5-0.6) \times 10^5 \text{ s}^{-1}$. Using a set of research methods, the dependence of microstructure, microhardness, and microstress on carbon concentrations in steels destroyed by the explosion was found. Explosion destruction leads to the formation of a deformation structure, which is characterized by an uneven grain shape with an increase in carbon concentration from 0.1 to 0.6, microstress and microhardness decrease; at a concentration of 1.1 %, an increase in these indicators is observed. These dependences can be explained by the influence of the processes of polygonization and recrystallization.

Keywords: explosion, the effect of carbon concentration, steel structure, metal hardening, microhardness

Введение. Особенности изменения структурного состояния сталей при взрыве активно изучаются учеными [1–5], но остается ряд пробелов в знаниях о процессах, происходящих в сталях.

В данной работе проведены исследования микроструктуры, микротвердости, а также изменения микродеформаций в зависимости от концентрации углерода при взрыве со скоростью деформации $(0,5–0,6) \times 10^5 \text{ с}^{-1}$ сталей разного состава.

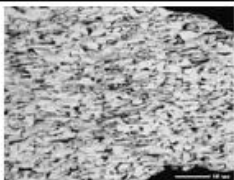
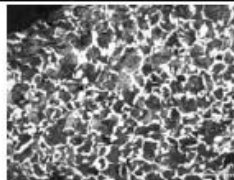
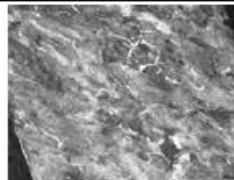
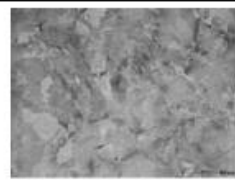
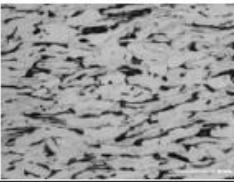
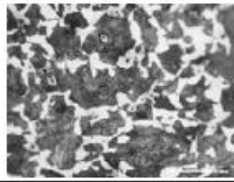
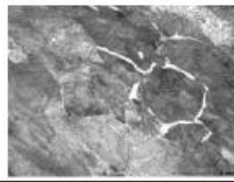
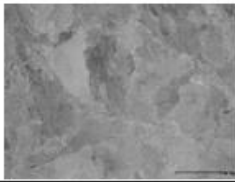
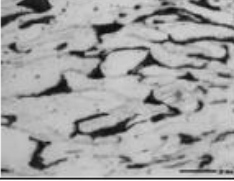
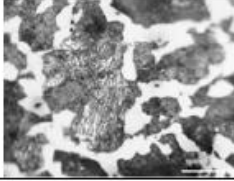
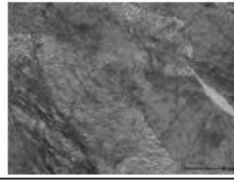
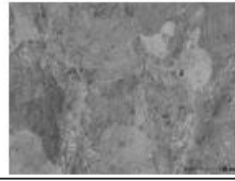
Материалы и методы. Объектом исследования были цилиндрические трубчатые оболочки из сталей 10, 45 и 60, 110Г2С, которые разрушались взрывом со скоростью деформации $(0,5–0,6) \times 10^5 \text{ с}^{-1}$.

Микроструктуру исследовали на металлографическом микроскопе на фрагментах оболочек после подрывов. Микротвердость измеряли на приборе DuraScan 70.

Рентгеновский анализ выполнен в монохроматическом $\text{Cu K}\alpha$ -излучении в геометрии Брегга — Брентано. Проведены съемки спектров диапазоне $2\theta = 40–140^\circ$ с шагом $D2\theta = 0,02^\circ$ и выдержкой 3 секунды на точку.

Результаты. Анализ микроструктуры (см. таблицу) показал, что большее искажение микроструктуры соответствует стали 10, в то время как микроструктура стали 110Г2С деформировалась незначительно.

Микроструктура стальных образцов, разрушенных взрывом при скорости деформации $(0,5–0,6) \times 10^5 \text{ с}^{-1}$

Марка стали	Сталь 10	Сталь 45	Сталь 60	110Г2С
	Скорость деформации, с^{-1}			
Увеличение	$0,52 \times 10^5$	$0,65 \times 10^5$	$0,58 \times 10^5$	$0,54 \times 10^5$
×200				
×500				
×1000				

Микротвердость и микродеформация образцов в зависимости от концентрации углерода представлены на рис. 1 и 2.

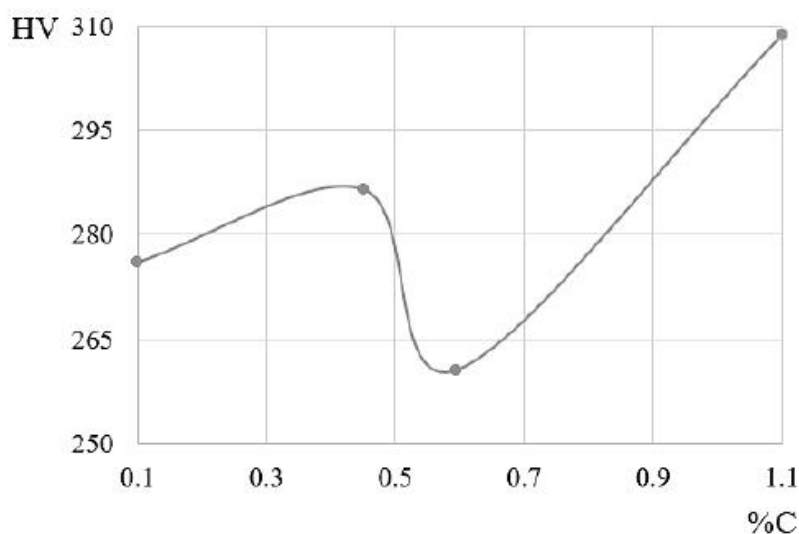


Рис. 1. Зависимость микротвердости от концентрации углерода сталей 10, 45, 60 и 110Г2С при скорости деформации $(0,5-0,6) \times 10^5 \text{ с}^{-1}$

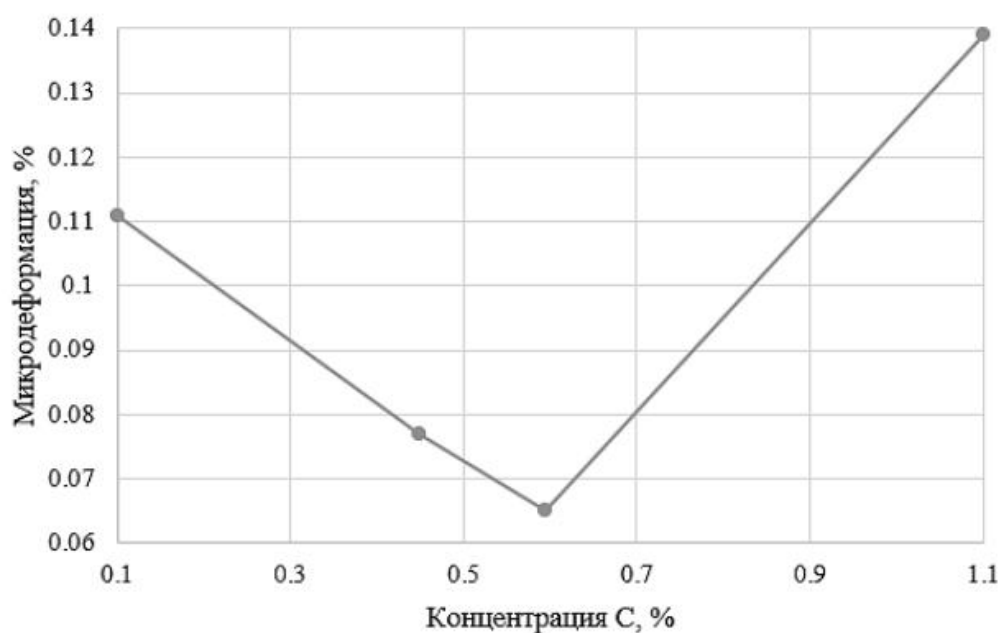


Рис. 2. Зависимость микродеформаций от концентрации углерода при разрушении образцов со скоростью деформации $(0,5-0,6) \times 10^5 \text{ с}^{-1}$

Обсуждение полученных результатов. Деформирование взрывом приводит к формированию структуры деформации, которая отличается неравноосной формой зерна. При деформации взрывом наблюдается необычная зависимость микронапряжений и микротвердости от концентрации углерода. Микротвердость и микронапряжения снижаются при росте содержания углерода от 0,1 до 0,6 %, а затем возрастают. Можно предположить, что за счет повышения температуры при взрыве происходят процессы рекристаллизации, приводящие к изменению микронапряжения и изменению размеров зерна.

Закключение. Микроструктурный анализ показал, что деформирование взрывом приводит к формированию структуры деформации, которая отличается неравноосной формой зерна.

С увеличением концентрации углерода с 0,1 до 0,6 снижаются микронапряжения и микротвердость; при концентрации 1,1 % — наблюдается рост этих показателей. Такое влияние концентрации углерода на микронапряжения и микротвердость можно объяснить влиянием процессов полигонизации и рекристаллизации.

Список источников

- [1] Крупин А.В., Соловьев В.Я., Попов Г.С., Кръстев М.Р. *Обработка металлов взрывом*. Москва, Металлургия, 1991, 496 с.
- [2] Селиванов В.В., Кобылкин И.Ф., Новиков С.А. *Взрывные технологии*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021, 519 с.
- [3] Эпштейн Г.И., ред. *Ударные волны и явления высокоскоростной деформации металлов*. Москва, Металлургия, 1984, 511 с.
- [4] Джонс А.Х., Мейден К.Дж., Избелл У.М. Действие ударных волн высокого давления на металлы. *Механические свойства материалов под высоким давлением: сб.* Москва, Мир, 1973, с. 288–323.
- [5] Гагов В.И., Попов Г.С. Одна возможность о моделировании дислокационной структуры при упрочнении металлов взрывом. *Научная сессия ВМЭИ им. В.И. Ленина*, София, 1987.

A9

Промышленный дизайн

