

3. Е. И. Карпиловский. ФГВ, 1982, 18, 3, 120.
4. А. М. Гладиллин, Е. И. Карпиловский, А. Д. Корнев. ФГВ, 1978, 14, 1, 123.
5. А. М. Гладиллин, Е. И. Карпиловский. ФГВ, 1980, 16, 3, 148.
6. Физика взрыва/Под ред. К. П. Станюковича. М.: Наука, 1975.
7. С. К. Годунов. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976.
8. Н. К. Калиткин. Численные методы. М.: Наука, 1978.
9. Ю. А. Николаев, М. Е. Топчийн. ФГВ, 1977, 13, 3, 393.

Поступила в редакцию 4/XI 1985,  
после доработки — 31/III 1986

## УДАРНО-ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЕЙ

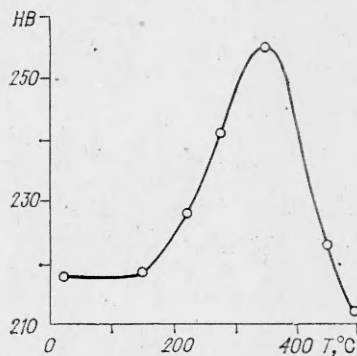
А. И. Мартынов, В. Ф. Сазонов, В. К. Коробов, С. С. Бацанов  
(Менделеево)

Как известно, под действием динамических давлений в чистом железе возникают различные дефекты (вакансии, дислокации), которые существенно влияют на его механические свойства. Такое же воздействие на сталь, особенно в сочетании с термической обработкой, вызывает более глубокие превращения в ее структуре, поскольку вместе с концентрацией дефектов изменяется также состояние углерода и других элементов, входящих в состав стали. Ударно-термическая обработка может как увеличивать растворимость примесей [1], так и, наоборот, ускорять распад твердых растворов [2]. Это приводит к улучшению механических свойств железа [3] и повышению коррозионной стойкости стали [4].

В настоящей работе исследовано влияние ударно-термической обработки на твердость сталей с различным содержанием углерода. Опыты проводились на сталях марок: Ст. 3, Ст. 10 и Ст. 45, а также на железе технической чистоты. Образцы цилиндрической формы диаметром 20 и длиной 60 мм подвергались действию динамических давлений при  $p_{\max} = 20$  ГПа. После такой обработки образцы подвергались отжигу в температурном диапазоне 150—500°C в течение двух часов.

В результате исследований установлено, что отжиг, проводимый после ударной обработки, может приводить к повышению твердости стальных образцов. В табл. 1 представлены результаты измерения твердости образцов, подвергнутых действию динамических давлений с интенсивностью 20 ГПа и последующим отжигом. Отсутствие эффекта повышения твердости у чистого железа указывает на важную роль углерода в этом явлении.

Опираясь на результаты, полученные в работе [1], обнаруженный эффект повышения твердости можно связать с диссоциацией перлита и увеличением растворимости углерода в  $\alpha$ -железе. Ис-



В настоящей работе исследовано влияние ударно-термической обработки на твердость сталей с различным содержанием углерода. Опыты проводились на сталях марок: Ст. 3, Ст. 10 и Ст. 45, а также на железе технической чистоты. Образцы цилиндрической формы диаметром 20 и длиной 60 мм подвергались действию динамических давлений при  $p_{\max} = 20$  ГПа. После такой обработки образцы подвергались отжигу в температурном диапазоне 150—500°C в течение двух часов.

В результате исследований установлено, что отжиг, проводимый после ударной обработки, может приводить к повышению твердости стальных образцов. В табл. 1 представлены результаты измерения твердости образцов, подвергнутых действию динамических давлений с интенсивностью 20 ГПа и последующим отжигом. Отсутствие эффекта повышения твердости у чистого железа указывает на важную роль углерода в этом явлении.

Таблица 1

Твердость образцов, подвергнутых ударно-термическому воздействию

Материал образца	Твердость HV		
	исходная	ударная обработка	ударная+термическая обработка при температуре 350°C
Железо технической чистоты	55	202	202
Ст. 10	118	217	255
Ст. 3	128	262	297
Ст. 45	156	311	364

ходя из этой гипотезы, можно объяснить и характер изменения твердости образцов в зависимости от температуры отжига  $T$ , полученный при отжиге образцов из Ст. 10, предварительно обработанных ударной волной с интенсивностью 20 ГПа (см. рисунок). Повышение твердости образцов при росте  $T$  от 200 до 350°C можно объяснить тем, что в этом температурном интервале главную роль играет процесс диффузии углерода, скорость которого зависит от температуры. При  $T > 350^\circ\text{C}$  начинает сказываться отжиг дефектов, который сначала уменьшает эффект, вызванный повышением растворимости углерода, а при  $T \sim 500^\circ\text{C}$  сводит его влияние к нулю.

Предпринятая попытка повысить твердость за счет циклического повторения процесса (табл. 2) показала сохранение прироста твердости при каждом последующем цикле. После третьего цикла прирост в твердости составляет 10—30% от прироста, полученного после первого цикла. Это ограничение в повышении твердости связано, вероятно, с тем, что при импульсной обработке веществ концентрация дефектов может расти только до некоторого предела [5], а следовательно, и растворимость углерода в  $\alpha$ -железе также будет ограничена. По данным работы [6], в «дефектированном» железе при комнатной температуре с карбидом железа в равновесии может находиться до 0,25% углерода.

Полученные результаты показывают, что методика обработки стали, основанная на совместном использовании различных способов, обладает высокими потенциальными возможностями. Представляет несомненный интерес расширить круг используемых методов воздействия.

Высказанная модель является, конечно, гипотетической и требует экспериментальной проверки. Может оказаться также, что причина столь необычного изменения свойств сталей состоит в изменении характера физических дефектов или формы существования углерода после действия высоких динамических давлений и последующего нагревания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Э. А. Савченков, И. А. Щербилис. Физика и химия обработки материалов, 1983, 1, 52.
2. О. А. Банных, В. М. Блинов, И. И. Гаврильев и др. ФГВ, 1982, 18, 3, 104.
3. З. М. Гелунова, В. П. Лемякин, П. О. Пашков. Физика металлов и металловедение, 1970, 30, 5, 999.
4. Э. А. Савченков, Р. Р. Айкулов, А. Ф. Светличкин. Физика и химия обработки материалов, 1980, 4, 90.
5. С. С. Бацанов. Тр. I Всесоюз. симпоз. по импульсным давлениям. Т. 2. М.: ВНИИФТРИ, 1974.
6. Б. М. Могутнов, И. А. Томили. Термодинамика железо-углеродистых сплавов. М.: Металлургия, 1972.

Поступила в редакцию 14/X 1985

Т а б л и ц а 2

Твердость образцов из Ст. 45, подвергнутых циклическому ударно-термическому воздействию

Вид обработки	Твердость $HV$
Исходное состояние	156
Ударная при давлении 20 ГПа	311
Ударная + термическая при 350°	364
То же + ударная	387
То же + термическая	398
То же + ударная	402
То же + термическая	418