

10. Ragland K. W., Nicholls J. A. AIAA J., 1969, 7, 5, 859.
11. Ragland K. W., Garcia C. F. Comb. Flame, 1972, 18, 1.
12. Митрофанов В. В., Пинаев А. В. Докл. АН СССР, 1975, 225, 3.
13. Зверев П. И., Смирнов Н. Н. Взаимодействие волн в деформируемых средах.— М.: Изд-во МГУ, 1984.
14. Смирнов П. И. Вестн. Моск. ун-та. Математика. Механика. 1980, 2, 81.
15. Фролов С. М., Гельфанд Б. Е., Тимофеев Е. И. ФГВ, 1984, 20, 5.
16. Пигматулин Р. И. Основы механики гетерогенных сред.— М.: Наука, 1978.
17. Smirnov N. N. Intern. J. Heat and Mass Transfer, 1985, 28, 5, 929.
18. Smirnov N. N. Intern. J. Heat and Mass Transfer, 1986, 29, 5.
19. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа.— М.: Наука, 1973.
20. Пигматулин Р. И. Препринт ИТФ СО АН СССР.— Новосибирск, 1984.
21. Пигматулин Р. И., Вайнштейн П. Б., Ахатов И. Ш. ФГВ, 1983, 19, 5, 93.
22. Смирнов Н. И. ФГВ, 1982, 18, 5, 63.
23. Пигматулин Б. И., Клебанов Л. А., Кронилин А. Е. ТВТ, 1980, 6.
24. Смирнов И. И. ФГВ, 1985, 21, 5, 29.
25. Лесняк С. А., Назаров М. А., Трошин Я. К. и др. Докл. АН СССР, 1968, 182, 5.
26. Пинаев А. В. ФГВ, 1977, 13, 3, 408.
27. Bowen J. R., Ragland K. W., Steffes F. T. e. a. 13-th Symp. (Intern.) on Combustion, 1970.
28. Бойченко А. П., Смирнов П. И. ФГВ, 1986, 22, 2.

*Поступила в редакцию 18/VIII 1986,
после доработки — 10/III 1987*

ВЛИЯНИЕ УДАРНО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ

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

Как показано в работе [1], ударно-термическая обработка сталей, включающая в себя воздействие на сталь импульсного давления и низкотемпературного отжига, приводит к повышению твердости стали как после импульсного давления, так и после отжига. Такое изменение свойств связывалось с повышением растворимости углерода в α -железе, содержащем дефекты структуры.

В связи с этим представляет интерес исследовать влияние указанного воздействия на другие характеристики сталей (прочность, пластичность). В настоящей работе эксперименты проводили на цилиндрических образцах, изготовленных из Ст.10 и Ст.45. Ударную обработку проводили импульсным давлением величиной ~ 20 ГПа и длительностью ~ 10 мкс. После этого образцы отжигали при $T = 220 \div 500^\circ\text{C}$ 2 ч. После каждой обработки измеряли твердость образцов и испытывали их на разрывной машине для определения предела прочности при растяжении и относительного удлинения, характеризующего пластичность материала.

На образцах из Ст.10 эксперименты проводили при разных температурах отжига, а на образцах из Ст.45 — только при $T = 350^\circ\text{C}$, которая обуславливала максимальный эффект повышения прочности. В табл. 1 указаны предел прочности при растяжении σ_b и относительное удлинение δ Ст.45 после обработки с максимальным эффектом упрочнения, а в табл. 2 механические характеристики Ст.10 приведены в зависимости от температуры отжига, проведенного после ударной обработки. Как видно из приведенных данных, отжиг образцов в диапазоне $T = 220 \div 350^\circ\text{C}$ приводит к одновременному увеличению их прочности, твердости и пластичности. Следует отметить, что такое явление необычно, что указывает на сложный характер процессов, происходящих в структуре стали после воздействия на нее рассматриваемым методом.

Т а б л и ц а 1

Вид обработки	σ_B , МПа	δ , %
Исходное состояние (нормализация: нагрев до $T = 820^\circ\text{C}$, охлажде- ние на воздухе)	643(7,4)	18(0,17)
Ударная	975(5,8)	12(0,11)
Ударная + термическая при 350°C	1186(5,4)	14(0,38)

П р и м е ч а н и е. В скобках указаны среднеквадратичные отклонения.

Объяснить характер полученных изменений свойств стали можно исходя из предположения, что основными факторами, влияющими на свойства стали при отжиге, являются процесс диффузии углерода и отжиг дефектов, образующихся в результате ударного воздействия.

Как отмечалось в [1], повышение твердости при низкотемпературном отжиге вызвано распадом карбидов, входящих в состав сталей, и растворением образовавшегося при распаде углерода в α -железе, содержащем дефекты структуры в результате ударной обработки. Естественно предположить, что и повышение прочности при отжиге связано также с перераспределением углерода и стали.

Сделанное предположение подтверждается результатами работы [2], где показано, что низкотемпературный отжиг технически чистого железа, подвергнутого ударной обработке, приводит к уменьшению его прочности. Этот результат в совокупности с данными настоящей работы указывает на очевидную связь роста прочности с изменением состояния углерода в стали. В соответствии со сделанным предположением находятся и данные по изменению прочности с температурой отжига Ст.10 (см. табл. 2). Повышение прочности при $T < 350^\circ\text{C}$ связано с тем, что основную роль играет здесь процесс диффузии углерода по границам зерен и дислокациям. При $T > 350^\circ\text{C}$ ему начинает противодействовать процесс отжига дефектов, который уменьшает их количество и тем самым снижает скорость диффузии углерода. Повышение пластичности образцов связано с отжигом дефектов, поэтому ее увеличение наблюдается с ростом T .

Таким образом, на основании полученных результатов можно утверждать, что ударно-термическая обработка оказывает глубокое влияние практически на все механические свойства стали и позволяет получать высокую прочность в сочетании с достаточно высокой пластичностью. Особый интерес метод представляет с точки зрения повышения механических характеристик таких материалов, упрочнение которых традиционным методом термической обработки (закалкой) не представляется возможным (например, малоуглеродистые стали).

Т а б л и ц а 2

Вид обработки	σ_B , МПа	δ , %	Hv
Исходное состояние (отжиг при $T = 900^\circ\text{C}$)	346(8,1)	31,0(0,86)	118
Ударная	557(6,5)	9,0(0,22)	217
Ударная + термическая при $T, ^\circ\text{C}$:			
220	661(5,0)	10,0(0,21)	226
280	678(5,1)	10,5(0,14)	240
350	701(7,9)	11,0(0,12)	255
450	630(8,5)	13,0(0,15)	221
500	573(5,6)	14,5(0,24)	213

ЛИТЕРАТУРА

1. Мартынов А. И., Сазонов В. Ф., Коробов В. К. и др. ФГВ, 1987, 23, 4.
2. Гелунова З. М., Лемякин В. П.— В кн.: *Металловедение и прочность материалов*. Т. III.— Волгоград: Изд-во Волгоградская правда, 1971.

Поступила в редакцию 20/V 1986,
после доработки — 22/XII 1986

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ПОРОШКООБРАЗНОГО АЛЮМИНИЯ НА ЭНЕРГИЮ ВВ, ПЕРЕДАВАЕМУЮ В ОСЕВОМ И РАДИАЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИЯХ

В. Ю. Давыдов, В. В. Козмерчук, Е. Ю. Мурьшев, И. Д. Головлев
(Москва)

Добавки Al во взрывчатые вещества для повышения их работоспособности (например, в алюмотолах) широко используются при дроблении скальных пород, взрывной штамповке и сварке. Однако в ряде случаев (обжатие крешера, метание оболочек и пластин) эффект от его введения значительно ниже расчетного, что, по мнению авторов, связано с неполнотой сгорания добавки за время совершения работы продуктами детонации (ПД) [1—6]. При этом, по аналогии с ВВ, которые не содержат горючих добавок и выделяют энергию в основном до плоскости Жуге, считали, что при равных временах отбора энергии прирост импульса при введении алюминия должен быть одинаков как в осевом (метание пластин с торца заряда), так и в радиальном (метание оболочек) направлении. Однако эксперимент не подтвердил это предположение, а данные [1—6], полученные с использованием различных экспериментальных методик, достаточно разноречивы.

Для проверки этого предположения поставлены следующие эксперименты. Цилиндрические заряды из ВВ диаметром $d = 20$ мм помещали в оболочки из Ст.45 различной длины и толщины. Длина оболочек l варьировалась от 40 до 120 мм, а толщина $\delta = 2 \div 10$ мм. У одного торца заряд инициировали электродетонатором, а на другом помещали пластину диаметром 20 мм, толщина которой $h = 2 \div 10$ мм (рис. 1, а). В другой постановке пластина находилась внутри трубки и металась зарядом высотой 60 мм (рис. 1, б). Цель экспериментов заключалась в том, чтобы за ограниченные времена разгона метаемых тел организовать максимальные степени расширения ПД и сравнить эффекты от введения алюминия при торцевом и радиальном метании.

Процесс радиального расширения трубки и метания пластин фиксировали с помощью 2-кратной (или 4-кратной) рентгеноимпульсной съемки. Перемещение метаемых тел регистрировали в среднем сечении оболочки и в центральной точке на внешней поверхности пластины. База измерения лимитировалась размером рентгеновского снимка и достигала 80 мм. Время измерялось с точностью 10^{-7} с.

В качестве ВВ использовали флегматизированный гексоген и его смесь со сферическим порошком Al со средним размером частиц 20—30 мкм. Выбор гексогена обусловлен его меньшим предельным диаметром по сравнению с тротилом, что позволило проводить эксперименты

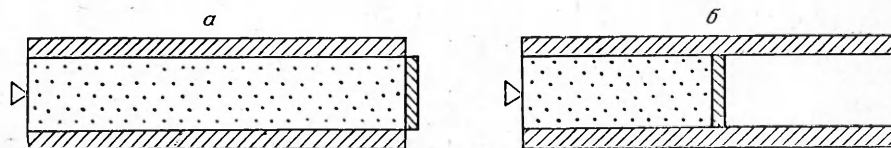


Рис. 1.