

05;12

## **Влияние ударной обработки на динамическую прочность стали 38ХНЗМФА**

© *М.В. Сильников, А.И. Михайлин, А.В. Петров, Ю.И. Мещеряков,  
В.А. Ермолаев, Н.С. Кочетова, С.М. Ушеренко*

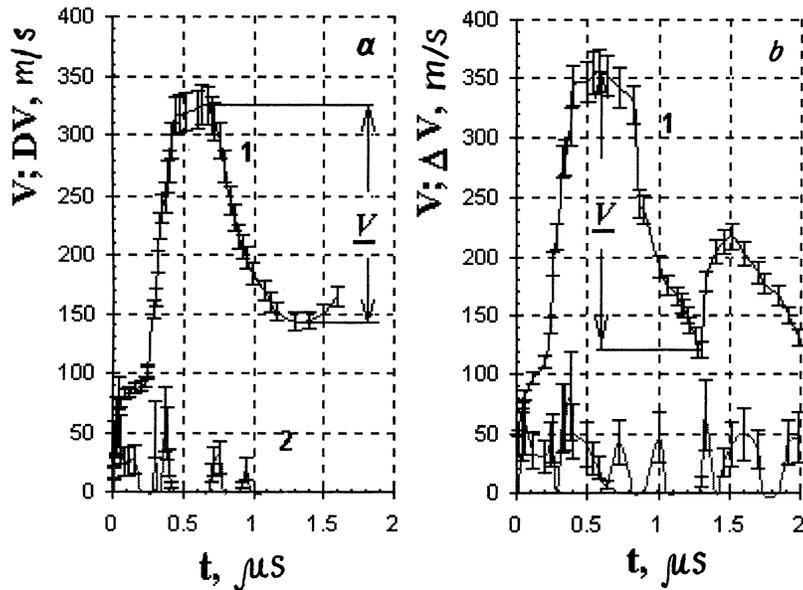
НПО специальных материалов, С.-Петербург  
НПО импульсных процессов, Минск

*Поступило в Редакцию 19 октября 1999 г.  
В окончательной редакции 17 марта 2000 г.*

Исследовано влияние типов обработки — прохождение ударной волны и сверхглубокое проникание ультрамелкого порошка — на динамическую прочность стали 38ХНЗМФА. Установлено, что повышение динамической прочности в основном связано с уменьшением количества более твердых и хрупких областей в материале после воздействия ударной волны. Влияние сверхглубокого проникания частиц порошка на динамические свойства стали в данном случае незначительно.

Воздействие ударных волн на свойства металлов и сплавов давно привлекает внимание как ученых, так и практиков [1–4]. Для ученых это область экстремально высоких давлений и скоростей деформаций, практиков интересует прежде всего возможность получить материалы с более высокими физико-механическими и технологическими свойствами, не достижимыми другими методами обработки. К настоящему времени накоплен значительный экспериментальный и теоретический материал об ударном воздействии на свойства твердых тел, однако ценность каждого нового исследования в этой области еще достаточно велика.

В данной работе исследовали влияние двух типов предварительной ударной обработки на динамическую прочность конструкционной легированной стали 38ХНЗМФА. Первая обработка заключалась в прохождении ударной волны, инициируемой взрывом, через образцы, которые представляли собой короткие цилиндры диаметром 52 mm



**Рис. 1.** Зависимость от времени скорости свободной поверхности  $V$  (1) и дисперсии скорости  $\Delta V$  (2) образцов из стали 38ХНЗМФА в исходном состоянии (а), после воздействия ударной волны (b) и после совместного воздействия ударной волны и порошка (с).

и толщиной 10 mm. Такая форма образцов была необходима для последующего определения динамических свойств материала.

Во втором случае такие же образцы подвергали 3-кратному совместному воздействию ударной волны и высокоскоростного (3000 m/s) плотного (1–4 g/cm) потока смеси ультрамелких порошков SiC и Ni. Время взаимодействия потока частиц с образцом равнялось 100 μs, фоновое давление в обоих случаях обработки составляло 10 GPa. Как известно [5,6], в подобных условиях наблюдается сверхглубокое проникание частиц порошка на глубину до нескольких миллиметров. В результате образуется своеобразный композит из вязкой матрицы основного материала, твердых частиц внедренного порошка и следов прохождения частиц. Последние имеют сложное строение и состоят

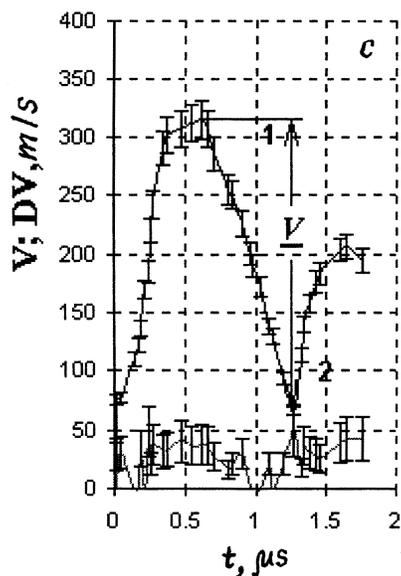
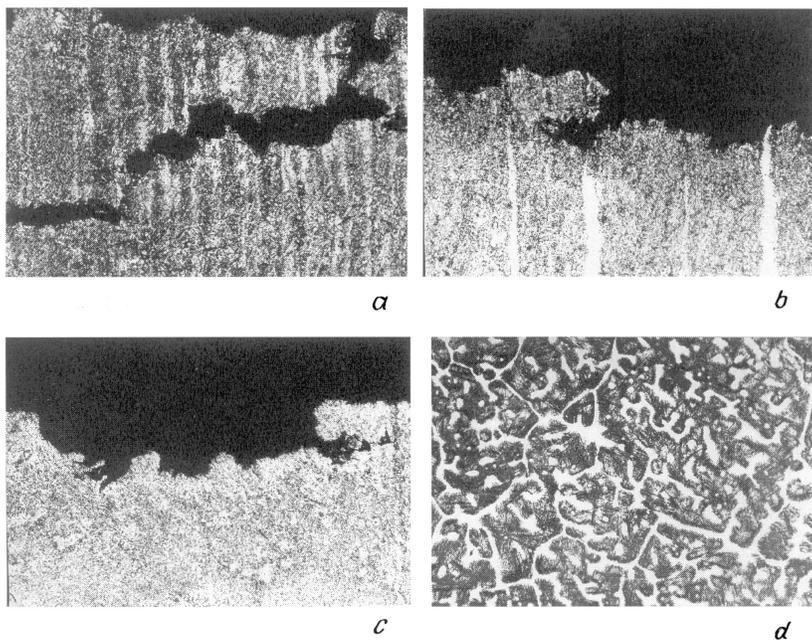


Рис. 1 (продолжение).

из бесструктурной зоны аморфизированного материала, зоны сильной фрагментации и области ячеистой дислокационной структуры. Установлено, что ударная обработка потоком микрочастиц изменяет свойства материалов, в частности, существенно повышает износостойкость режущего инструмента [6]. В работе [7] предложена модель захвата и увлечения микрочастиц фронтом ударной волны, однако механизм сверхглубокого проникания до конца не ясен. Такие два вида обработки материала были выбраны с целью отделить влияние ударной волны, сопутствующей сверхглубокому прониканию порошка, от тех изменений в структуре и свойствах основного материала, которые вызваны собственно внедрением частиц порошка.

Определение динамической прочности осуществляли с помощью легкогазовой пневматической пушки и двухканального лазерного дифференциального интерферометра. Неплоскостность ударника и мишени при соударении не превышала  $10^{-3}$  рад, скорости соударения составляли



**Рис. 2.** Микроструктура образцов из стали 38ХНЗМФА в исходном состоянии (*a, d*), после обработки ударной волной (*b*) и после совместного воздействия ударной волной и ультразвукового порошка (*c*). Плоскость шлифа параллельна (*a, b, c*) и перпендикулярна (*d*) направлению прокатки ( $\times 100$ ).

300–350 м/с. После обработки сигналов интерференции по методике, изложенной в [8], получали зависимости скорости свободной поверхности мишени  $V$  и дисперсии скорости  $\Delta V$  от времени, что позволяло затем определить откольную скорость и откольную прочность материала мишени.

Из представленных на рис. 1 результатов видно, что откольная скорость  $V = V_{\max} - V_{\min}$  стали 38ХНЗМФА после ударной обработки первым способом возросла со 187 до 235 м/с, а после совместного воздействия ударной волны и ультразвукового порошка — до 248 м/с. Откольная прочность составила соответственно 4.30, 5.41 и 5.70 ГПа.

Таким образом, основной эффект динамического упрочнения в данном случае связан именно с воздействием ударной волны.

Для выяснения причины подобного влияния на динамическую прочность стали 38ХНЗМФА были приведены исследования структуры с помощью оптической микроскопии, измерены микро- и макротвердость в различных точках сечения образцов. На фотографиях, представленных на рис. 2, видно, что зона откольного разрушения образцов в исходном состоянии содержит значительное количество вторичных трещин. Кроме того, видна неоднородная полосчатая структура, наиболее выраженная также в исходном состоянии.

Полосчатость параллельна направлению прокатки заготовки, из которой изготавливали образцы (рис. 2, *c*). В перпендикулярном направлении структура стали в исходном и обработанном состояниях состоит из чередующихся светлых и темных областей, причем размеры областей соответствуют расстоянию между полосами на рис. 2, *a-c*. Наиболее ярко это видно на примере исходного состояния стали (рис. 2, *d*). Заметных следов сверхглубокого проникания не обнаружено.

Микротвердость светлых и темных областей существенно различна — соответственно 473 и 321 HV<sub>50</sub>. Вероятно, светлые полосы соответствуют областям повышенной концентрации углерода либо областям локализации деформации при прокатке. При ударной обработке обоими способами микротвердость полос не изменилась, однако существенно уменьшилось количество более твердых областей. В результате макротвердость обработанных образцов оказалась ниже — 42 HRC для обоих способов обработки и 45 HRC в исходном состоянии. Таким образом, возрастание динамической прочности стали 38ХНЗМФА после ударной обработки в данном случае связана с уменьшением количества более твердой и, вероятно, более хрупкой составляющей в исходно-неоднородном материале.

## Список литературы

- [1] Райнхарт Дж.С., Пирсон Дж. Взрывная обработка металлов. М.: Мир, 1966.
- [2] Райнхарт Дж.С., Пирсон Дж. Поведение материалов при импульсных нагрузках. М.: Иностран. лит., 1958.
- [3] Дерibas А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск: Наука, 1980.

- [4] *Пашков П.Ю., Гелунова З.М.* Действие ударных волн на закаленные стали. Волгоград, 1969. 166 с.
- [5] *Горобцов В.Г., Козорезов К.И., Ушеренко С.М.* // Порошковая металлургия. 1982. В. 6. М.: Высш. школа.
- [6] *Козорезов К.И., Максименко В.Н., Ушеренко С.М.* // Избранные вопросы современной механики. 1981. Ч. 1.
- [7] *Симоненко В.А., Скоркин Н.А., Башуров В.В.* // Физика горения и взрыва. 1991. Т. 27. № 4. С. 46–51.
- [8] *Мещеряков Ю.И., Диваков А.К.* Интерференционный метод регистрации скоростной неоднородности частиц в упругопластических волнах нагрузки в твердых телах. Ленингр. филиал ин-та им. А.А. Благонравова АН СССР. Препринт № 25. 36 с.