

бовало разработки метода численного решения системы уравнений модели. Такой метод предложен в [17]. Хорошее согласие результатов решения ряда одномерных нестационарных задач с экспериментальными данными, показанное в данной работе, позволяет сделать вывод о применимости использованной модели и метода численного расчета для моделирования поведения металлов в широком диапазоне изменения интенсивности нагрузок, деформаций и скоростей деформации.

Поступила в редакцию 16/XII 1983

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Л. Уилкинс.— В кн.: Вычислительные методы в гидродинамике. М.: Мир, 1967.
2. Л. В. Альтшулер, М. И. Бражник, Г. С. Телегин. ПМТФ, 1971, 6, 157.
3. И. В. Симонов. Изв. АН СССР. МТТ, 1974, 2, 105.
4. Л. М. Флитман. Изв. АН СССР. МТТ, 1974, 2, 97.
5. А. А. Дерibas, Ф. В. Нестеренко, Г. А. Сапожников и др. ФГВ, 1979, 15, 2, 126.
6. Ю. Бейда.— В кн.: Распространение упругопластических волн. Алма-Ата: Наука, 1973.
7. В. Н. Кукуджанов.— В кн.: Сообщение по прикладной математике. Вып. 6. М.: ВЦ АН СССР, 1976.
8. С. К. Годунов. Элементы механики сплошной среды. М.: Наука, 1978.
9. В. Л. Иденбом, А. П. Орлов. УФН, 1962, 76, 3, 557.
10. Дж. У. Тейлор. Механика, 1966, 4, 145.
11. Дж. Дж. Гилман. Механика, 1970, 2, 96.
12. J. N. Johnson, L. M. Barker. JAP, 1969, 40, 11, 4321.
13. Р. И. Нигматулин, Н. Н. Холин. Изв. АН СССР. МТТ, 1974, 4, 131.
14. В. М. Фомин, Э. М. Хакимов. ПМТФ, 1979, 5, 114.
15. Г. И. Канель. ПМТФ, 1982, 2, 105.
16. L. A. Merzhievskij. Archiwum Mechaniki Stosowanej, 1978, 30, 4—5, 477.
17. Л. А. Мерзиевский.— В кн.: Динамика твердого тела (Динамика сплошной среды). Вып. 45. Новосибирск, 1980.
18. С. К. Годунов, Е. И. Роменский, Н. С. Козин. ПМТФ, 1974, 2, 123.
19. Л. А. Мерзиевский, С. А. Шамонин. ПМТФ, 1980, 5, 170.
20. А. Н. Дремин, Г. И. Канель. ПМТФ, 1976, 2, 146.
21. J. Lipkin, J. R. Asay. JAP, 1977, 48, 1, 182.
22. В. П. Козлов. ЖТФ, 1966, 36, 7, 1305.
23. W. E. Drummond. JAP, 1957, 28, 12, 1437.
24. Л. А. Мерзиевский, А. Д. Реснянский. ФГВ, 1983, 19, 1, 99.
25. Л. А. Мерзиевский. Ударные волны в конденсированных средах. Учебное пособие. Новосибирск, 1982.
26. Л. И. Седов. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1977.
27. В. И. Лаптев, Ю. А. Тришин. ПМТФ, 1974, 6, 128.
28. В. А. Одинцов, Л. А. Чудов.— В кн.: Механика Проблемы динамики упругопластических сред. Вып. 5. М.: Мир, 1975, 85.
29. Л. А. Мерзиевский, А. Д. Реснянский.— В кн.: Динамика жидкости со свободными границами (Динамика сплошной среды). Вып. 60. Новосибирск, 1983.
30. Н. И. Матюшкин, Ю. А. Тришин. ПМТФ, 1978, 3, 99.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УПРОЧНЕННОЙ ВЗРЫВОМ СТАЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ

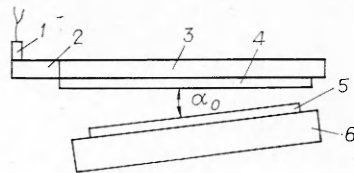
И. Д. Захаренко, К. Е. Милевский, В. Н. Москвин

(Новосибирск)

В производстве различных стальных изделий широкое распространение находят методы обработки их взрывом с целью улучшения механических свойств [1]. При этом актуален вопрос прогнозирования механических свойств металла при воздействии на него возникающих при взрыве импульсных нагрузок различной амплитуды и длительности. Такое прогнозирование возможно на основе установления корреляционных зависимостей между изменениями механических свойств стали под воздействием взрыва и характеристиками физических полей, используемых в неразрушаемом контроле, например электромагнитных. Механизм воз-

122

Рис. 1. Схема эксперимента.
 1 — электродетонатор; 2 — генератор линейной детонационной волны; 3 — заряд ВВ; 4 — ударник; 5 — обрабатываемый образец; 6 — подложка.



действия ударных волн на структуру различных материалов достаточно подробно рассмотрен в [2, 3]. Изучению влияния ударных волн на электрические и магнитные свойства металлов посвящено небольшое количество работ. В [3] приводятся сведения о влиянии обработки металлов взрывом на их электрическое сопротивление. Связь ударно-волнового нагружения и остаточных магнитных свойств армко-железа и никеля исследована в [4]. Постоянные магнитные поля используются в ряде случаев для изучения магнитных эффектов при ударном нагружении ферромагнетиков [5]. Электромагнитные методы находят широкое применение для неразрушающего контроля термически обработанных сталей [6].

Настоящая работа посвящена исследованию воздействия ударных волн на наиболее чувствительные к структурным изменениям ферромагнетика электромагнитные характеристики — высшие гармонические составляющие сигнала вторичной ЭДС и сигнал шумов Баркгаузена с целью создания метода прогнозирования механических свойств изделия из Ст. 60 при обработке взрывом.

Исследования проводили на образцах из Ст. 60 размером $8 \times 8 \times 100$ мм, вырезанных из корпусных изделий, полученных методом глубокой вытяжки. Ударную волну в образцах создавали плоским ударом медной пластины толщиной 4 мм, которая металась зарядом насыщенного гексогена. Толщину ВВ в опытах варьировали от 5 до 25 мм. Иницирование осуществлялось с помощью детонатора и генератора линейной детонационной волны (рис. 1). Начальный угол α_0 и параметры соударения рассчитывали по данным [1].

Контрольные и обработанные ударной волной образцы испытывали на разрывной машине РМ-102 по ГОСТу 1497—73, а также на ударном копре для определения механических свойств стали. Кроме того, часть образцов проходила металлографический анализ.

В процессе испытания образцов до и после обработки их ударной волной с помощью проходного преобразователя трансформаторного типа измеряли ЭДС шумов Баркгаузена и амплитуду 3-й гармоники вторичной ЭДС. Преобразователь длиной 50 мм имел следующую конструкцию: на эбонитовый каркас внутренним диаметром 12 мм проводом ПЭЛ диаметром 0,06 мм намотаны измерительные обмотки (2 обмотки по 500 витков, включенные дифференциально), поверх которых проводом ПЭВ-2 диаметром 0,35 мм намотана намагничивающая обмотка с 2000 витками. Образцы перематывались в электромагнитных полях с частотой 20 и 50 Гц и напряженностью от 50 до 1000 А/м. Напряженность поля изменялась дискретно. Электромагнитные характеристики образцов в экспериментах определяли на приборе МШС-1 [7] и приборе для измерения высших гармоник [8]. После этого образцы подвергали механическим испытаниям и металлографическому анализу по стандартной методике.

Для исключения влияния на результат эксперимента нарушений, возможных в образцах при соударении с ними пластин по схеме рис. 1, поперечные размеры образцов выбирали на 20—25% больше размеров образцов для проведения механических испытаний.

На рис. 2 представлена зависимость предела прочности σ_b Ст. 60 от давления p ударной волны. Из рисунка следует, что с увеличением давления возрастает величина σ_b . Кроме того, относительное сужение металла уменьшается на 15—20%. Как показал металлографический анализ образцов, наблюдается различие в структуре металла корпуса в исходном состоянии и обработанного взрывом. Так, у исходного металла имеется осевая пористость, образованная в результате получения корпуса

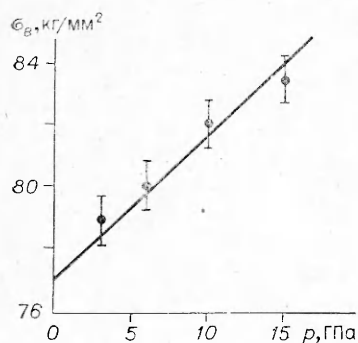


Рис. 2. Зависимость механических свойств Ст. 60 от давления в ударной волне.

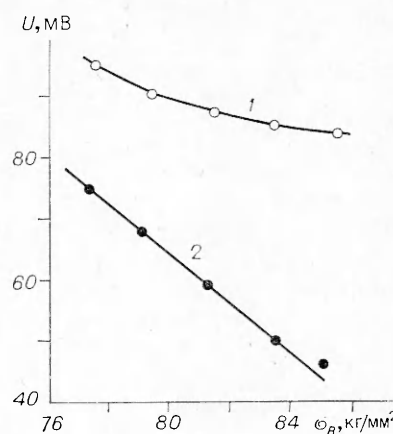


Рис. 3. Связь между ЭДС и механическими характеристиками обработанных взрывом образцов.

1 — ЭДС третьей гармонической составляющей; 2 — ЭДС шумов Баркгаузена.

методом глубокой вытяжки, которая после взрывного нагружения уменьшается. Это, очевидно, приводит к увеличению прочностных характеристик металла. Ударная вязкость образцов, обработанных ударными волнами, возрастает незначительно.

Данные по измерению ЭДС шумов Баркгаузена и амплитуды 3-й гармоники приведены на рис. 3. Из них следует, что в исследуемом диапазоне давлений существует линейная зависимость между пределом прочности σ_b Ст. 60 и ЭДС шумов Баркгаузена, регистрируемых прибором МПС-1. Связь между амплитудой 3-й гармонической составляющей и механическими свойствами стали выражена гораздо слабее.

Обоснование связи между изменением структуры ферромагнетика при воздействии на него ударных волн и электромагнитными характеристиками возможно на основе рассмотрения изменения поля старта доменных границ от величины внутренних напряжений и дефектности структуры, определяемых прохождением ударных волн в металле.

Напряженность внешнего магнитного поля, необходимая для вывода междоменной границы из потенциальной ямы, принято называть критическим полем старта H_0 , величина которого есть функция плотности дислокаций N , градиента внутренних напряжений и величины пластической деформации ϵ [9, 10]. С другой стороны, зависимость общей индукции ферромагнетика B от H описывается уравнением [8]

$$B = \mu_0 H + \gamma H^2,$$

где μ_0 — магнитная проницаемость образца; γ — коэффициент, характеризующий поле старта доменных границ H_0 . С учетом работы [9] H_0 определяется градиентом внутренних напряжений

$$H_0 \sim \frac{\lambda_s \delta}{I_s} \left(\frac{d\sigma}{dx} \right)_{\max} \quad \text{или} \quad H_0 \sim k_0 \frac{\lambda_s \Delta\sigma}{I_s},$$

где $\Delta\sigma$ — изменение внутренних напряжений; k_0 — коэффициент, зависящий от отношения толщины междоменной границы δ к средней длине внутренних напряжений; λ_s — магнитоstrictionная константа; I_s — намагниченность насыщения.

Таким образом, из последнего соотношения следует, что чем выше величина внутренних напряжений, тем больше эффективное поле H_0 , определяющее величину потенциальных барьеров, препятствующих перемещению ферромагнетика. Вследствие этого при воздействии на сталь ударных волн наблюдается связь структуры и внутренних напряжений с магнитными свойствами, определяющими величину сигнала гар-

моник вторичной ЭДС и шумов Баркгаузена. Практическая реализация прогнозирования механических свойств сталей неразрушающим методом может быть основана на регистрации изменения сигнала шумов Баркгаузена как метода, наиболее чувствительного к изменению структуры стали при обработке ее ударными волнами.

Поступила в редакцию 26/VI 1983

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Дерибас. Физика упрочнения и сварка взрывом. Новосибирск: Наука, 1980.
 2. Г. Н. Эпштейн. Стрoение металлов, деформируемых взрывом. М.: Металлургия, 1980.
 3. М. А. Могилевский. Механизмы деформации при нагружении ударными волнами (обзор). ВИНТИ, 1980.
 4. А. Н. Киселев. ФГВ, 1974, 10, 4.
 5. В. В. Новиков, В. Н. Минеев. ФГВ, 1983, 9, 3.
 6. М. А. Мельгуй. Магнитный контроль механических свойств сталей. Минск: Наука и техника, 1980.
 7. В. Н. Москвин, А. И. Лещенко. Дефектоскопия, 1983, № 1.
 8. Р. Е. Ершов. Метод высших гармоник в неразрушаемом контроле. Новосибирск: Наука, 1979.
 9. F. Vicena. Csechosl. J. Phys., 1955, 5.
 10. A. N. Qnereshi, L. N. Chandhary. J. Appl. Phys., 1970, 41, 3.
-