

ТВЕРДЫЕ ТЕЛА В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

УДК 539.171.4

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

© 2024 г. Н. И. Сельченкова^а, А. Я. Учаев^{а, *}

^аРоссийский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Нижегородская обл., Саров, 607188 Россия

*E-mail: uchaev@expd.vniief.ru

Поступила в редакцию 06.06.2023 г.

После доработки 10.06.2023 г.

Принята к публикации 14.06.2023 г.

Явление динамического хаоса, самоорганизации связано со стохастической неустойчивостью и критическим поведением нелинейных физических систем различной природы. Эти процессы возникают, например, в явлении динамического разрушения конденсированных сред и развитой турбулентности. В таких нелинейных системах возникает каскад динамических диссипативных структур, обладающих фрактальной структурой. Свойства мультифракталов характеризуются спектральной функцией $f(d_f)$, определяемой поведением числа элементов l , необходимых для покрытия фрактальных множеств с одинаковыми вероятностями $P_i \sim l^{-f_i}$. В обоих случаях переход систем с одного масштабно-временного уровня на следующий происходит через каскад бифуркаций и количественные характеристики процессов на развитых стадиях не зависят от гамильтониана межатомного взаимодействия. Фрактальная организация процессов на всех масштабно-временных уровнях свидетельствует о подобию процессов и позволяет отнести эти процессы к единому классу универсальности. Эволюция системы в целом определяется не гамильтонианами межатомного взаимодействия, а возникающими каскадами диссипативных структур. Близкие значения фрактальных размерностей на всех рассмотренных масштабах, которые характеризуют структуру разрушения, позволяют исследовать образование микродефектов разрушения и макроразрушения, как масштабные границы спектра единого процесса, имеющего единые параметры порядка.

Ключевые слова: явление динамического разрушения конденсированных сред, развитая турбулентность, явление динамического хаоса, самоорганизация, стохастическая неустойчивость, критическое поведение нелинейных физических систем, каскад диссипативных структур, фрактальные множества, универсальное поведение

DOI: 10.56304/S2079562923010220

ВВЕДЕНИЕ

Стохастическая неустойчивость и критическое поведение нелинейных физических систем различной природы являются важными процессами, связанными с явлениями динамического хаоса, затуханием и ростом корреляций, перемешиванием, самоорганизацией и т.д. Эти процессы проявляются, например, в явлении динамического разрушения конденсированных сред, в развитой турбулентности.

Однако, в настоящее время строгая, математически обоснованная теория явления динамического разрушения конденсированных сред, также как, и турбулентности пока отсутствуют, что делает необходимым для их описания применение феноменологических подходов и скейлинговых соотношений.

Так в явлении динамического разрушения металлов при высокоинтенсивном внешнем воздей-

ствии макроразрушение, меняющее связность тела, возникает при достижении критического значения плотности центров разрушения для определенного значения долговечности (возникновение перколяционного кластера) [1–5].

Согласно авторам работ [6, 7], гидродинамическая турбулентность является хаотической динамикой, которая связана со стохастической неустойчивостью и критическим поведением неравновесной среды.

Существует несколько сценариев перехода к турбулентному движению: сценарий перехода по Ландау–Хопфу, когда возникает режим движения среды с набором частот, отношение которых — иррациональное число; переход через последовательность бифуркаций удвоения периода; переход через перемежаемость и т.д.

В явлении динамического разрушения металлов эволюция нелинейной диссипативной систе-

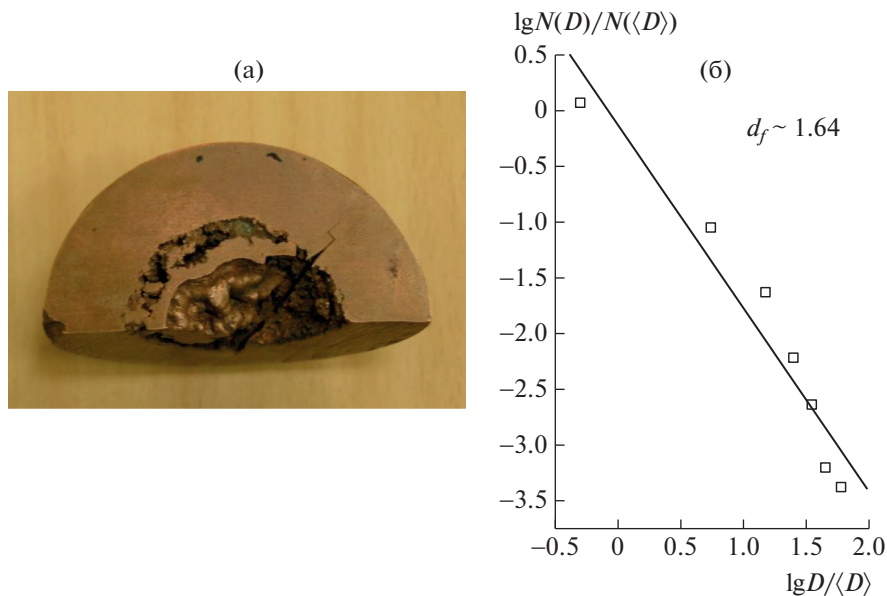


Рис. 1. Внешний вид Si образца, заполненной водородом (а); фрактальная размерность контура внутренней границы ВГО (б).

мы происходит через каскад бифуркаций увеличения концентрации диссипативных структур до критического значения на определенных масштабно-временных уровнях. Переход неравновесной системы на следующий масштабно-временной уровень делает эволюцию рассматриваемой системы необратимой.

Следствием возникающих диссипативных структур при внешнем воздействии на среду является самоорганизация элементов системы. Распределение элементов системы по размерам, энергиям и т.д. при приближении к области возникновения самоорганизации принимает степенной вид $y_i \sim x^{-\alpha}$, α — критический показатель. Степенное распределение является статистическими выражениями масштабной инвариантности, которая указывает на то, что система достигла критического состояния. Эволюция системы через каскад бифуркаций делает ее необратимой.

ЗАДАЧИ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Приведем ряд примеров универсального поведения физических систем в явлении динамического разрушения и турбулентности.

В работах [1–5] показано, что при высокоинтенсивном внешнем воздействии в явлении динамического разрушения кристаллическая решетка вследствие сдвиговой неустойчивости и перемешивания, теряет дальний порядок (см. рис. 1–9).

Исследовались толстостенные образцы из Si, диаметром 60 мм (рис. 1а) [2, 5]. Обработка контура внутренней границы оболочки (ВГО) из Si, с применением математического пакета про-

грамм интерактивной системы анализа изображений приведена на рис. 1б — фрактальная размерность контура внутренней границы ВГО [2, 5].

Рассмотрим минимальные диссипативные потери энергии ударной волны на перемешивание кристаллической решетки на границе раздела металл—газ.

Согласно рис. 1, близ ВГО образуются области с порами. В области растущих пор вследствие сдвиговой неустойчивости и перемешивания кристаллическая решетка теряет дальний порядок. Минимальная плотность энергии потери кристаллической решеткой дальнего порядка составляет величину $E_{\min} \geq H + Lm$, H — энтальпия, Lm — теплота плавления. Используя уравнение состояния конденсированных сред в форме Ми—Грюнайзена $P \sim \Gamma \rho E$, Γ — параметр Грюнайзена, ρ — плотность, можно оценить долю энергии ударной волны на перемешивание кристаллической решетки, а соответственно уменьшение амплитуды давления. Для Si имеем значение $E_{\min} \sim 680$ Дж/г. Плотность поглощенной энергии ударной волны для $P \sim 36$ ГПа в оболочке согласно уравнению состояния ($\Gamma \sim 2$; $\rho \sim 8.9$ г/см³; $E \sim 690$ Дж/г). Вследствие минимальных диссипативных потерь в кристаллической решетке амплитуда ударной волны падает на величину $P \sim 12$ ГПа. Оценки с использованием критериального соотношения $E_{\min} \sim H + Lm$, без учета инерциальных потерь приведены в данной работе. Оценки полезны при газодинамических исследованиях процессов диспергирования и обжата, например, оболочек с

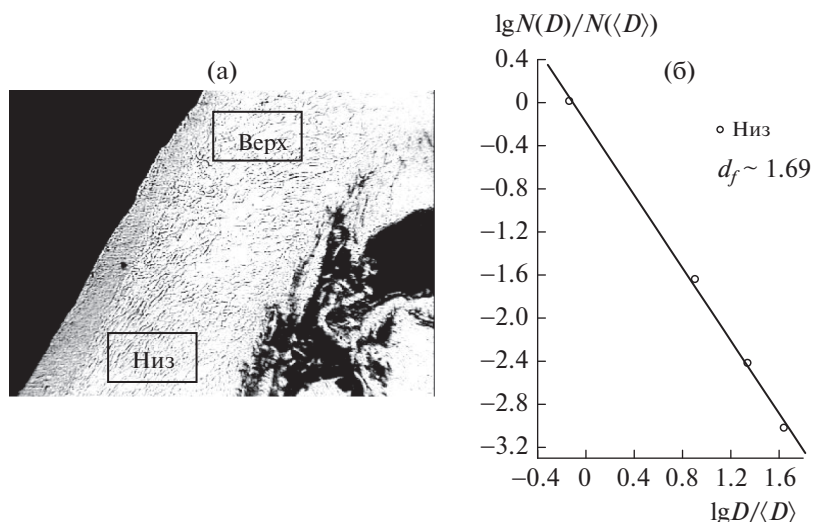


Рис. 2. Внешний вид грани медной пирамидки после воздействия релятивистских электронных пучков и математическая обработка: (а) грань медной пирамидки ($\times 200$); (б) фрактальная размерность полос скольжения в нижней части пирамидки (Низ).

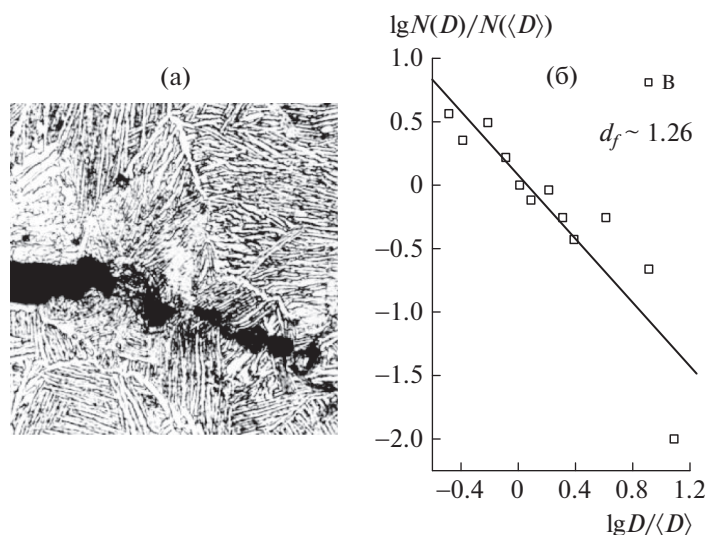


Рис. 3. Внешний вид шлифа образца из Ti после ударно-волнового нагружения (а); результаты обработки шлифа образца из Ti ($T_0 \sim -196^\circ\text{C}$; $P \sim 4.5$ ГПа; $\times 300$) (б).

газом при давлениях десятки-сотни гигапаскалей на границе раздела металл–газ.

При исследовании адиабатического расширения вещества после ударно-волнового нагружения подобные эффекты необходимо учитывать по величине давления. В работе [8] приведены адиабаты расширения меди при соударении с преградой (медь) для давлений $P \sim 219$; 159.9; 102 ГПа, которым соответствуют скорости ударной волны $D \sim 8.32$; 7.49; 6.53 км/с; и массовые скорости $U \sim 2.95$; 2.39; 1.75 км/с. При представлении данных в координатах $P-U$ отношения P/U , P/D не пропорциональны, как это бывает в упругой области.

Ранее проведен цикл экспериментальных исследований по ударно-волновому нагружению ряда металлов различной геометрии для установления температурно-временных закономерностей с применением импульсного ускорителя релятивистских электронов (явление теплового удара). Исследуемый диапазон неравновесных состояний $t \sim 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-10}$ с, диапазон начальных температур $T_0 \sim 4 \text{ К} - 0.8 T_{\text{пл}}$, скорость ввода энергии $dE/dt \sim 10^{11}$ Дж/с, плотность поглощенной энергии $dE/dm \sim 10^4$ Дж/г [1–5].

На рис. 2а приведена грань медной пирамидки и количественные характеристики полос сколь-

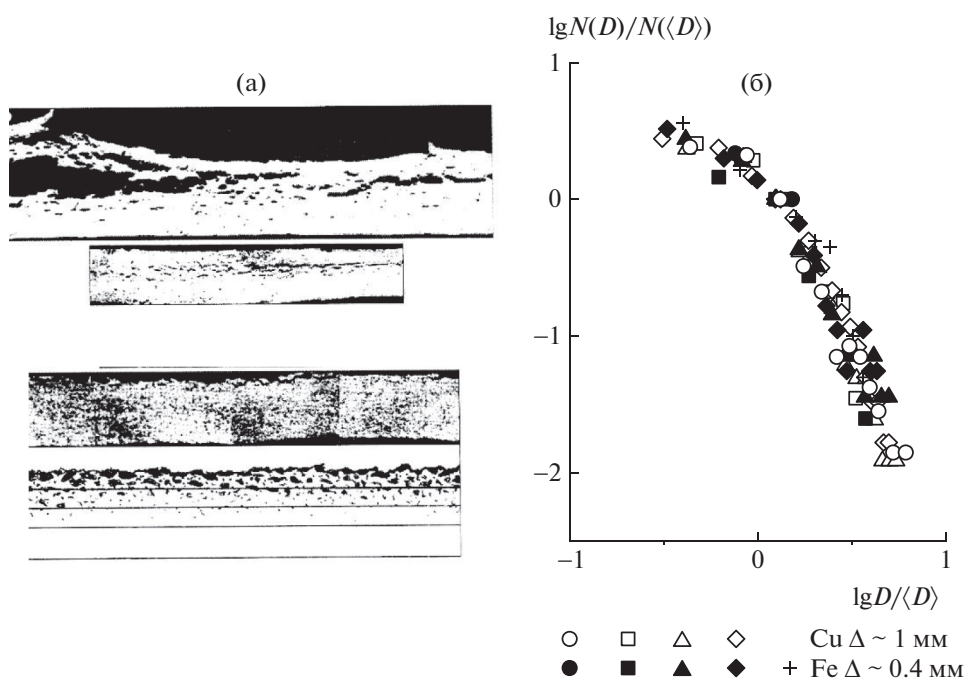


Рис. 4. Шлифы Fe, $\Delta \sim 0.4$ мм ($\times 300$); Cu, $\Delta \sim 1$ мм ($\times 400$), перпендикулярные поверхности разрушения после воздействия релятивистских электронных пучков (а); фрактальная размерность центров разрушения медного и железного образцов (б).

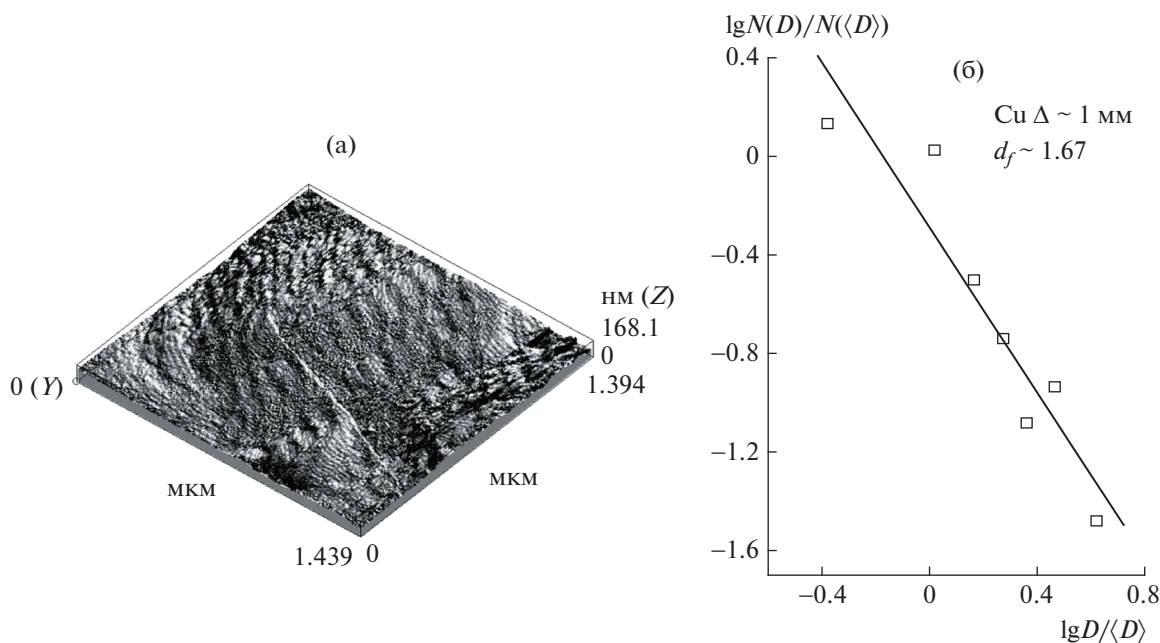


Рис. 5. СТМ-изображение медного образца, подвергнутого импульсному воздействию релятивистских электронных пучков (а); фрактальная размерность шероховатости внутренней поверхности центра разрушения медного образца (б).

жения кристаллической решетки в нижней части пирамидки: фрактальная размерность полос скольжения (рис. 26) [2, 5].

На рис. 3а приведен шлиф образца из Ti после ударно-волнового нагружения и количественные

характеристики - фрактальная размерность полос скольжения рис. 3б [2, 3, 5].

На рис. 4а приведены шлифы Cu ($\Delta \sim 1$ мм), Fe ($\Delta \sim 0.4$ мм), перпендикулярные поверхности разрушения после воздействия релятивистских элек-

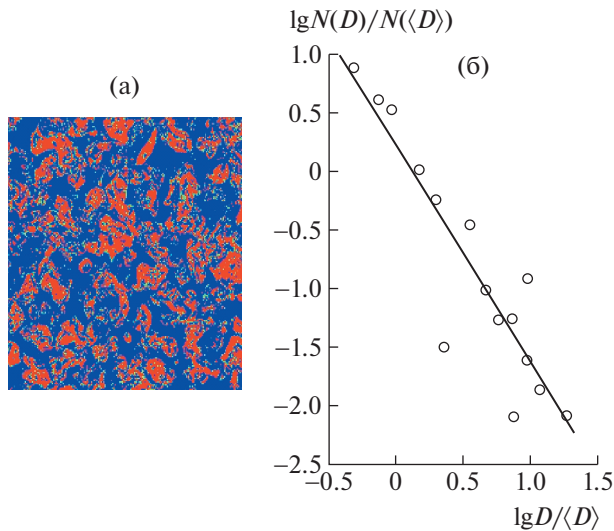


Рис. 6. Картины гравитационного турбулентного перемешивания двух несжимаемых жидкостей (а); результаты математической обработки: фрактальные размерности микровихрей турбулентного перемешивания (б), линия — метод наименьших квадратов [2, 5, 9].

тронных пучков. Изображения шлифов, перпендикулярных поверхности разрушения, разрезались на отдельные полосы, параллельные поверхности разрушения. В каждой из выделенных полос определялось количество и спектральное распределение (по размерам) центров разрушения. Время t действия растягивающего напряжения в каждой из таких полос различное и увеличивается с “приближением” полосы к поверхности разрушения при условии равномерного разогрева. Обработывались шлифы, параллельные поверхности разрушения.

Кривые распределения центров разрушения по размерам для некоторых материалов — мультифрактальный спектр распределения диссипативных структур, подвергнутых различным уровням воздействия, и для различного времени t действия давления приведены на рис. 4б [2, 5].

Распределение центров разрушения в Cu и Fe образцах на различной глубине от поверхности разрушения в координатах $\lg(N(D)/N(\langle D \rangle))$, $\lg(D/\langle D \rangle)$ приведены на рис. 4б, где D — размер центров разрушения; $\langle D \rangle$ — средний размер центров разрушения; $N(D)$ — число центров разрушения N размером D ; $N(\langle D \rangle)$ — число центров разрушения N размером $\langle D \rangle$, близки к единой кривой. Распределение центров разрушения по размерам на различных стадиях процесса разрушения можно получить одно из другого преобразованием подобия.

Для выявления скейлинговых свойств количественных характеристик диссипативных структур, образующихся в процессе динамического разруше-

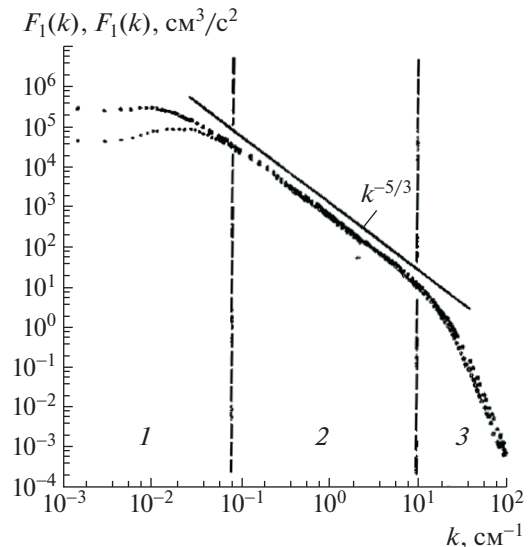


Рис. 7. Одномерные спектры пульсации продольной $F_1(k)$ и поперечной $F_2(k)$ компонент скорости осесимметричной струи в зависимости от волнового вектора k [10].

ния на наномасштабном уровне, использован СТМ (сканирующий туннельный микроскоп) и математические методы обработки изображений [2, 5].

На рис. 5, а приведено СТМ-изображение медного образца, подвергнутого импульсному воздействию релятивистских электронных пучков — наноуровень. Результаты обработки шероховатости внутренней поверхности центра разрушения с применением математического пакета программ приведены на рис. 5б; фрактальная размерность внутренней поверхности центра разрушения $d_f \sim 1.67$ [2, 5].

Большинство моделей перехода к турбулентному течению среды опирается на понятие бифуркации Хопфа, когда в системе возникает каскад бифуркаций, движение среды становится неустойчивым и переходит в хаотическое движение.

На рис. 6, а приведены растровые картина гравитационного турбулентного перемешивания двух несжимаемых жидкостей разной плотности и фрактальная размерность микровихрей турбулентного перемешивания от их размеров D (рис. 6б) [2, 5, 9]. Количественные характеристики получены с применением интерактивной системы анализа изображений. Здесь D — размер областей одинаковой концентрации, $\langle D \rangle$ — средний размер областей одинаковой концентрации; $N(D)$ — число областей размером D ; $N(\langle D \rangle)$ — число областей размером $\langle D \rangle$. Эти данные позволяют оценить степень взаимосвязи турбулентного течения с помощью фрактальной размерности d_f . Расчет дает примерно неизменную по ширине зоны турбулентного пе-

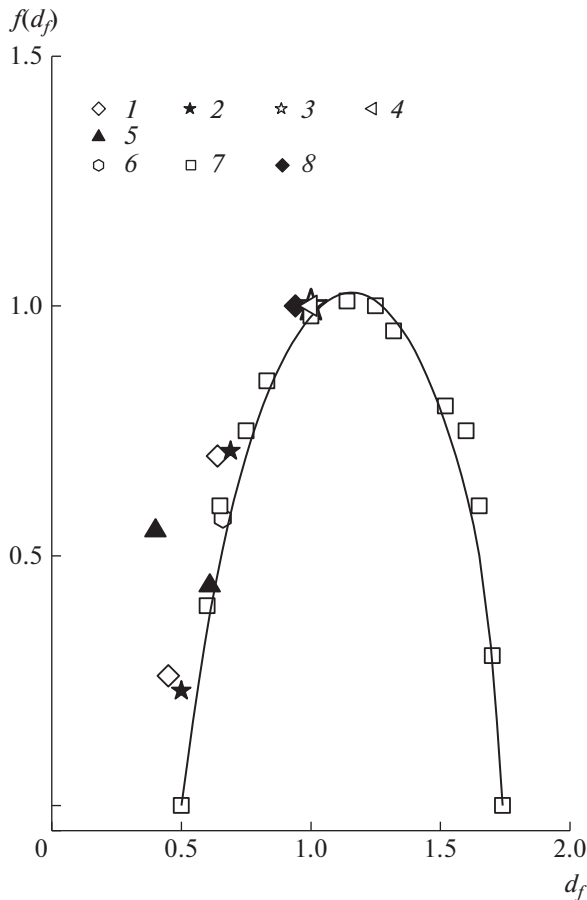


Рис. 8. Мультифрактальные спектры в применении к процессу динамического разрушения металлов (1–4) [1–5], ударно-волнового нагружения (5) [2, 5], процесса турбулентности (6–8) [9–11].

ремешивания фрактальную размерность $d_f \sim 1.5$, что согласуется с расчетными и экспериментальными данными работы [2, 5, 9].

В статье “Турбулентность” [10] показано, что средняя скорость передачи энергии по спектру в реальных системах является флуктуирующей величиной, и основной вклад передачи энергии дают редкие флуктуации, существенно превышающие фоновый уровень — так называемое явление перемежаемости. Так ведет себя $1/f$ шум в природных распределенных системах. Учет перемежаемости привело к созданию мультифрактальной модели турбулентности.

На рис. 7 приведены одномерные спектры пульсации продольной $F_1(k)$ и поперечной $F_2(k)$ компонент скорости осесимметричной струи в зависимости от волнового вектора k [10].

ОБСУЖДЕНИЕ

При динамическом подходе к изучению явления турбулентности фундаментальным является

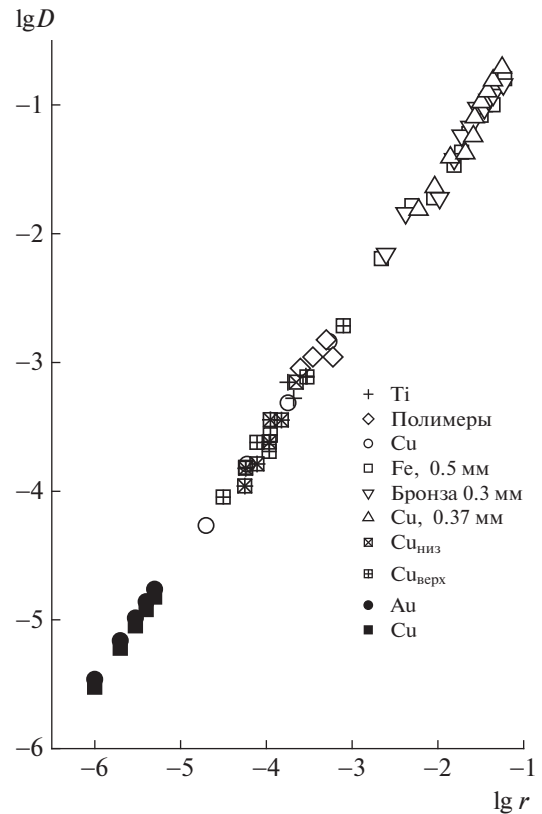


Рис. 9. Зависимость среднего расстояния $r = N^{-1/3}$ между элементами диссипативных структур от их среднего размера $\langle D \rangle$. Размеры r и $\langle D \rangle$ в сантиметрах.

переход нелинейного поля в неупорядоченное случайное движение, не зависящее от флуктуации и внешних шумов [11]. Наиболее распространенные переходы — разрушение квазипериодического движения, перемежаемость, последовательность удвоения периода.

Одним из способов описания самоподобных мер является определение самоподобной функции $f(\alpha_i)$. Для самоподобных мер $P_i \sim r^{\alpha_i}$ — вероятность состояния системы с размерностью α_i на масштабе r . Из этого выражения $\alpha_i \sim \ln P_i / \ln r$. Для процесса динамического разрушения металлов это может быть распределение числа объектов диссипативных структур от размера объектов диссипативных структур для определенного значения долговечности.

Для мультифрактала в условиях “глобального” самоподобия справедливо соотношение

$$\Sigma N_\alpha(r) \sim r^{-f(\alpha_i)},$$

где $N_\alpha(r)$ — число объектов с общим значением размерности α_i [11]. Откуда $f(\alpha_i) \sim -\ln \Sigma N_\alpha(r) / \ln r$.

Существует ряд математических функций (renom-групповой, преобразован Лежандра) для на-

хождения функции $f(\alpha_i)$. Для построения гистограмм распределения диссипативных структур применимо соотношение $f(\alpha_i) \sim \ln \Sigma N_\alpha(r) / \ln r$.

Для упрощения скейлинговых соотношений множеств различных объектов использовалось монофрактальное приближение, которое в большинстве случаев давало адекватные результаты [1–5].

Это следует из того, что автор работы [12], обобщая понятия энтропии распределения вероятностей ввел выражение, основанное на понятии момента q порядка вероятности P_i

$$S_q = ((1/q) - 1) \ln \Sigma P_i^q,$$

для $q = 1$ это стандартное выражение энтропии. $S_q = -\Sigma P_i \ln P_i$; S_q – обобщенная энтропия. Обобщенная размерность имеет вид $D_q = ((1/q) - 1) \ln \Sigma P_i^q / \ln r$ – аналог обобщенной размерности D . Для фракталов с вероятностью $P_i \sim 1/N_i$ обобщенная размерность $D_q = d_f$.

Также необходимо отметить, фрактальная, мультифрактальные меры (множества) не дифференцируемы [12, 13]. Поэтому статистическое описание таких систем становится единственно возможным.

На рис. 8 приведены мультифрактальные спектры: каскада центров разрушения, каскада полос скольжения в нижней части пирамидки, каскада шероховатости внутренней поверхности центра разрушения в явлении динамического разрушения [1–5]; каскада шероховатости контура внутренней границы ВГО при ударно-волновом нагружении [2, 5]; пульсации продольной $F_1(k)$ и поперечной $F_2(k)$ компонент скорости осесимметричной струи [10]; рассеяния энергии полностью развитой турбулентности вдоль одномерной прямолинейной траектории в турбулентном потоке [11]; каскада микровихрей турбулентного перемешивания двух несжимаемых жидкостей [9].

Согласно рис. 8, мультифрактальные спектры, перечисленных выше процессов, принадлежат одному классу универсальности.

На рис. 9 приведена зависимость среднего расстояния $\langle r \rangle$ между элементами диссипативных структур от их среднего размера $\langle D \rangle$ для: каскад центров разрушения (воздействие релятивистских электронных пучков), Cu ($\Delta \sim 0.37$ мм), бронза ($\Delta \sim 0.3$ мм), Fe ($\Delta \sim 0.5$ мм; Δ – толщина образца) – мезоуровень II; микротрещины: полимеры – мезоуровень I; каскад полос скольжения (ударно-волновое нагружение) Ti; шероховатость на поверхности (мезоуровень I) Cu; шероховатость на поверхности (наноуровень): Au, Cu; полосы скольжения в грани Cu пирамидки (в верхней и нижней частях) – так называемый концентрационный критерий. Концентрационный критерий показывает, что процессы динамического разрушения и диспер-

гирования конструкционных материалов являются аналогами критических явлений [2, 4, 5].

Масштабная инвариантность возникающих диссипативных структур указывает на то, что неравновесная система достигла критического состояния.

Свяжем сжимаемость $\chi = \frac{\partial V}{\partial P}$ образца нагруженного металла с плотностью центров разрушения N , используя парный потенциал $\phi(r)$ взаимодействия атомов в кристалле [14].

Объемный модуль упругости выражается через вторую производную потенциала парного взаимо-

действия и межатомного расстояния a : $K \sim \frac{\phi''(0)}{\alpha a}$ при $x \rightarrow 0$. Выражение для K в сечении тела можно выразить следующим образом $K = NK_{am}$. $N \sim 1/a^2$ – число атомов на квадратный сантиметр, K_{am} – “упругий модуль” на атом. Если в сечении тела (разрушаемого образца) существует каскад центров разрушения, то это означает, что в сечении имеется n_p разорванных межатомных связей. Следовательно, выражение для K можно представить:

$$K' = (N - n_p)K_{am},$$

K' – объемный модуль “пористого” металла.

Временная зависимость плотности центров разрушения $N(t)$ имеет вид [14]

$$N(t) \sim B(1 - t/t_p)^{-1.2},$$

B – коэффициент.

Восприимчивость χ описывается выражением [13]

$$\chi \sim \frac{1}{\left(1 - \frac{t}{t_p}\right)^{2.53}}.$$

На рис. 15 приведен вид восприимчивости на масштабе времени разрушения [14].

Вид кривой восприимчивости на масштабе времени разрушения (см. рис. 10) подобен кривой восприимчивости магнитных систем вблизи критической точки [15].

Теория фазового перехода Вильсона доказала свою универсальность, продемонстрировав, что основные свойства различных физических систем вблизи точки фазового перехода не зависят от гамильтониана взаимодействия, когда возникает масштабно-инвариантное поведение систем [16]. Также Фейгенбаум [17] показал, что динамические переходы систем к нерегулярному поведению должны быть одинаковыми для всех систем, в которых переход осуществляется через последовательность буфуркаций удвоения периода. Это доказано переходами гидродинамических систем

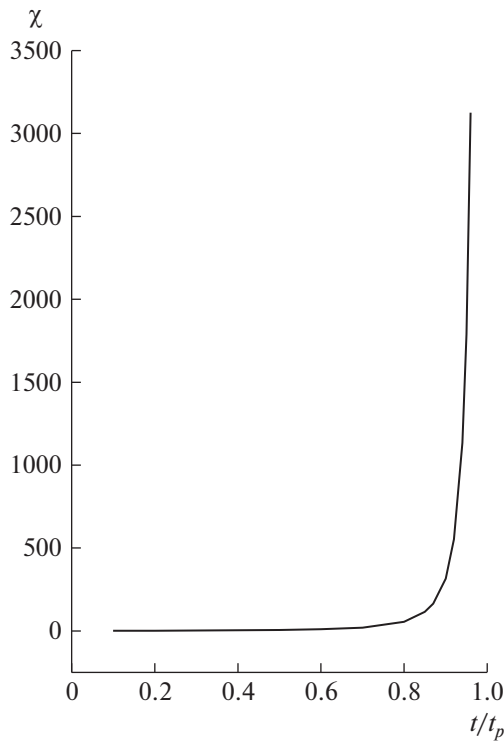


Рис. 10. Временная зависимость восприимчивости на масштабе времени разрушения.

от ламинарного течения к турбулентному и возникновением хаотического поведения электрон-дырочной плазмы в полупроводниках.

На рис. 11 приведен спектр частот конвектирующей жидкости при переходе к турбулентности [18].

На рис. 12 приведены колебания тока $I(t)$, фазовые портреты зависимости $V(t)$ от $J(t)$ и спектры мощности $S(\omega)$ для кристаллического Ge при двойной инжекции и параллельных электрическом и магнитном полях [18].

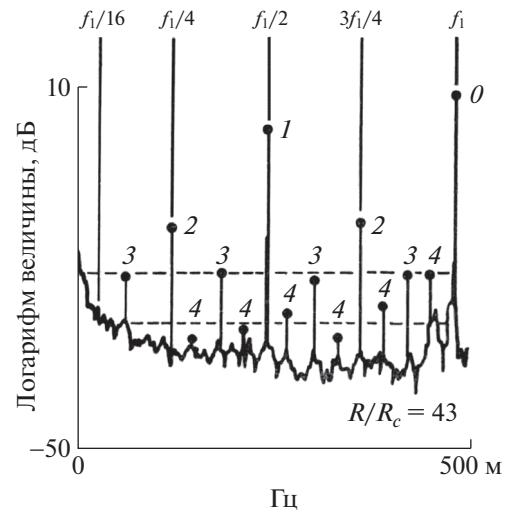


Рис. 11. Спектр частот конвектирующей жидкости при переходе к турбулентности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отметим общие черты явлений динамического разрушения и турбулентности. В обоих случаях переход систем с одного масштабно-временного уровня на следующий происходит через каскад бифуркаций; независимость количественных характеристик процессов на развитых стадиях от гамильтониана межчастичного взаимодействия; фрактальная организация процессов на всех масштабно-временных уровнях свидетельствует о подобии процессов и позволяет отнести эти процессы к единому классу универсальности.

Эволюция системы в целом определяется не гамильтонианами межатомного взаимодействия, а возникающими каскадами диссипативных структур. Близкие значения фрактальных размерностей на всех рассмотренных масштабах, которые характеризуют структуру разрушения, позволяют

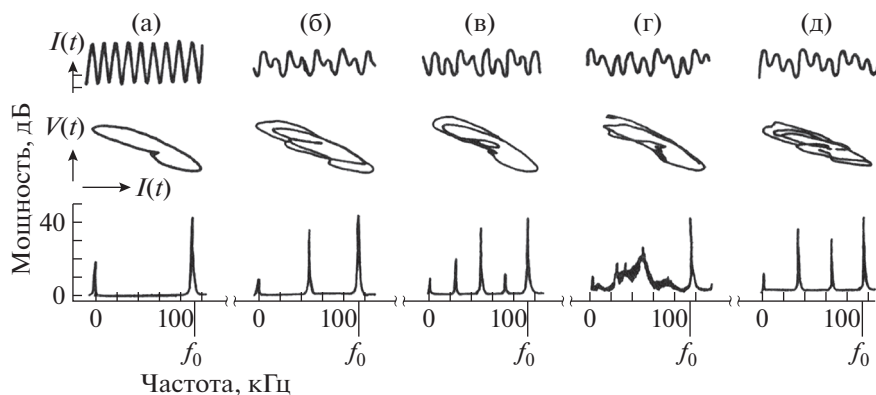


Рис. 12. Результаты измерений колебаний тока $I(t)$, фазовые портреты зависимости $V(t)$ от $J(t)$ и спектры мощности $S(\omega)$ для кристаллического Ge при двойной инжекции и параллельных электрическом и магнитном полях. Значение напряжения на рисунках возрастают от (а) до (д).

исследовать образование микродефектов разрушения и макроразрушение, как масштабные границы спектра единого процесса, имеющего единые параметры порядка.

В работе определены возможности получения количественные характеристики релаксационных процессов в одних системах, более простых для наблюдения, которые могут быть применены для прогнозирования поведения других систем, более сложных для изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Бонушкин Е.К. и др. Кинетика динамического разрушения металлов в режиме импульсного объемного нагрева. 1998. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ.
2. Кошелева Е.В. и др. Общие закономерности иерархических релаксационных процессов в металлах при воздействии импульсов проникающих излучений. 2015. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ.
3. Il'kaev R.I. et al. // Dokl. Phys. 2002. V. 47. P. 341.
4. Il'kaev R.I. et al. // Dokl. Phys. 2003. V. 48. P. 627.
5. Сельченкова Н.И., Учаев А.Я. Разрушение металла под действием проникающей радиации: Курс лекций. 2021. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ.
6. Гапонов-Грехов А.В., Рабинович М.И. // Природа. 1981. Т. 2. С. 54.
7. Синай Я.Г. // Природа. 1981. Т. 3. С. 72.
8. Трунин Р.Ф. и др. Экспериментальные данные по ударно-волновому сжатию и адиабатическому расширению конденсированных веществ: Научное издание. 2006. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ.
9. Стаценко и др. // ВАНТ. Сер.: Мат. модел. физ. проц. 2002. Т. 2. С. 18.
10. Прохоров А.М. Физическая энциклопедия. 1988. Москва: Советская энциклопедия.
11. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы: миниатюры из бесконечного рая. 2001. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика.
12. Renyi A. // Actual Math. 1955. V. 6 (3-4). P. 285.
13. Mandelbrot B. Fractal Nature Geometry. 1982. New York: WH freeman.
14. Сельченкова Н.И., Учаев А.Я. // Ядерная физика и инжиниринг. 2022. Т. 13 (6). С. 558. [Sel'chenkova, N.I., Uchaev, A.Y. // Phys. At. Nucl. 2022. V. 85 (10). P. 1744].
15. Stanly H.E. Phase Transitions and Critical Phenomena. 1971. Oxford: Clarendon Press.
16. Уилсон К., Козут Дж., Загребнова В.А. Ренормализационная группа и ϵ -разложение. 1975. Москва: Мир.
17. Feigenbaum M. // Physica D: Nonl. Phenom. 1983. V. 7 (1-3). P. 16.
18. Sholl E. Nonequilibrium Phase Transitions in Semiconductors: Self-Organization Induced by Generation and Recombination Processes. 1987. Berlin: Springer.

Study of Critical Dynamic Systems' Behavior

N. I. Sel'chenkova¹ and A. Ya. Uchaev^{1, *}

¹Russian Federal Nuclear Center — All-Russia Research Institute of Experimental Physics,
Sarov, Nizhny Novgorod region, 607188 Russia

*e-mail: uchaev@expd.vniief.ru

Received June 6, 2023; revised June 10, 2023; accepted June 14, 2023

Abstract—A phenomenon of dynamic chaos, self-organization is related to stochastic instability and critical behavior of non-linear physical systems of different nature. These processes arise, for example, in phenomenon of condensed media dynamic failure and developed turbulence. In such non-linear systems there occur dynamic dissipative structure cascades, possessing a fractal structure. Multi-fractal properties are characterized by spectral function $f(d_{fl})$, determined by elements number l behavior, required for covering of fractal sets with similar probabilities $P_l \sim l^{d_{fl}}$. In both cases, systems transit from one scale-time level to the next one via cascade of bifurcation and quantitative process characteristics at developed stages do not depend on interatomic interaction Hamiltonian. Fractal organization of processes at all scale-time levels testifies to process similarity and permits to assign these processes to a single class of universality. On the whole the system's evolution is defined not by interatomic interaction Hamiltonians, but by dissipative structures' incipient cascades. Similar values of fractal dimensions on all studied scales, which characterize the failure structure, allow formation study of microflaws of failure and macrofailure, as scale spectrum edges of overall process with overall order parameters. Key words: dynamic failure phenomenon of condensed media, fully developed turbulence, dynamic chaos phenomenon, self-organization, stochastic instability, critical behavior of nonlinear physical systems, dissipative structure cascades, fractal sets, universal behavior.