

А.С. ДАНОВ

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»***КВАНТОВАНИЕ ЭНЕРГИИ УПРУГИХ И ПЛАСТИЧЕСКИХ СРЕД**

Приведены экспериментальные результаты по осадке цилиндрических образцов, усталостных испытаний при действии осевой и радиальной загрузки на крепеж. Показана возможность проявления дискретных квантовых свойств энергии деформирования, а также наличия особой постоянной Планка, отвечающей за данный масштабный уровень. Показана целесообразность «квантования» при решении таких задач механики сплошных сред, как порошковая технология и металлургия, трещинообразование, механика разрушения, пластическое деформирование, а также сделана количественная оценка уровней дискретности для отдельных задач.

Ключевые слова: *квантование, осадка, усталостная прочность, заклепка, радиальный натяг.*

Введение

В настоящее время бурно развивается прикладная механика сплошных сред, особенно на стыке с другими науками. Если проанализировать технологическую применимость разработанных за последнее время новинок авиационной науки и техники, то можно отметить, что существенно увеличился удельный вес новых материалов, обладающих рядом уникальных свойств – меньшим удельным весом, большей вязкостью разрушений, хорошей коррозионной стойкостью. Многие из этих качеств удалось получить за счет рационального управления микроструктурой среды. Вместе с тем, нарастающая тенденция к усреднению микрохарактеристик для получения феноменологических микрозакономерностей оставила в стороне ряд квантовых эффектов (дискретность), по своему порядку сравнимых с наблюдаемыми количественными улучшениями характеристик материала.

Результаты исследования

При анализе экспериментальных данных по получению порошковых брикетов, проведенных в НАКУ «ХАИ» под руководством В.Г. Кононенко, наблюдалась несколько странная дискретность: прочность, сцепляемость частиц порошка периодически, в определенном диапазоне и в зависимости от подводимой энергии, существенно изменяла свои параметры, концентрируя устойчивые свойства лишь вблизи некоторых пороговых уровней энергии [1].

Подобное поведение материала автору статьи удалось объяснить в рамках резонансного взаимодействия между электромагнитными явлениями, ответственными за свойства кри-

сталлических образований и ячеек (доменов) и квантовыми гравитационными эффектами, проявляющимися через посредство воздействия единого поля, носящего векторный характер, с потенциалом взаимодействия Лапласо-Ньютоновского, либо Юкавского типа [1,2].

Проявление квантовой макродисперсности изучалось и в механике разрушения. В работе [2] было показано, что поведение дислокаций и точечных дефектов необходимо рассматривать в некотором общем римановом пространстве, создаваемом вблизи сингулярностей и конформно связанным с полем деформаций и напряжений в теле. Наличие подобного конформного преобразования свидетельствует о потенциальности поля взаимодействия и, следовательно, о возможности описания его состояний с помощью классического аппарата квантовой механики, т.е. с помощью уравнения типа Шредингера. Это, в свою очередь, свидетельствует о дискретности энергии, которая должна проявляться в макроэффектах, в частности, при энергетическом анализе процесса развития трещин и скачкообразном изменении их траектории. Процесс трещинообразования можно изучать путем непосредственного контроля за ее развитием оптическими средствами, а также с помощью различных физических эффектов, используемых обычно в неразрушающем контроле, например, измерением акустической эмиссии. Изменение параметра акустической эмиссии определялось в работе [3] на образцах ($10 \times 20 \times 250$ мм³) из алюминиевого сплава Д1Т на усталостной машине «Instron 1195» с частотой нагружения 0,83 Гц в цикле $\sigma_{\max} = 147$; $\sigma_{\min} = 9,8$ МПа, с регистрацией суммарной акустической эмиссии $N_{\text{аэ}}$ на серийном приборе АФ-П без таймер-

ного блока, с фрактографическим анализом на электронном микроскопе CWIK-100. Отмечался скачкообразный, дискретный механизм роста трещин. Подобный механизм скачкообразного изменения шага усталостных бороздок авторы [3] связывают с необходимостью учета в вершине трещин размаха деформаций, а не размаха интенсивности разрушений. При этом было выявлено несколько уровней, связь между которыми дается некоторой постоянной Δ_p , принимающей значение 0,22 для алюминиевых сплавов. Усреднение экспериментальных данных интегральной кривой $\sigma_{net}(\delta)$, где σ_{net} - максимальные напряжения переменного цикла в оставшемся сечении образцов с трещиной, δ - шаг усталостных бороздок, скрыло дискретности характера уровней потенциальной энергии, с которыми связано σ_{net} [4]. Минимальная величина дискретной величины δ лежит в пределах $(4...5) \cdot 10^{-5}$ мм (400...500 А). Это и есть характерный минимальный размер ячейки, начиная с которой наблюдаются дискретные свойства, ответственные за макроскопические эффекты в виде трещинообразования, наблюдаемого в макроскопическом смысле.

Явление дискретности проявляется и при анализе кривых упрочнения материалов при простом нагружении. На рис. 1 приведен ряд типовых зависимостей интенсивности напряжений σ_i от интенсивности деформаций ε_i .

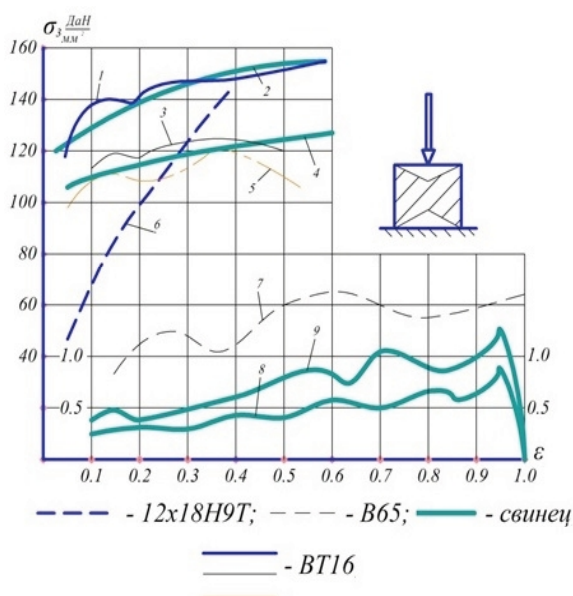


Рис. 1. Кривые упрочнения при сжатии ($t = 20$ °C) образцов:

- 1, 3, 5, 6, 7 – аппроксимация на ЭВМ экспериментальных результатов;
- 2, 4 – BT16, $n = 0,084$;
- 8, 9 – свинец после литья (8-1 мм/с; 9 – 4 мм/с)

Представлены экспериментальные результаты для процесса квазистатической осадки цилиндрических образцов из сплавов В65, ВТ16, 12Х18Н9Т, используемых для крепежных элементов, а также свинцовых образцов после литья.

Обычно в литературе [5, рис 5.П] подобные зависимости усредняют, пытаются описать их единой кривой в широком диапазоне изменения деформаций. Вместе с тем, внимательный анализ экспериментальных данных позволяет обнаружить ряд характерных площадок монотонности, за которыми начинается граница скачкообразного изменения характера зависимости и нелинейного перехода на очередную ступеньку монотонности. Данные дискретные переходы характеризуются набором «квантованных» значений интенсивности деформаций $\varepsilon_j; \varepsilon_{j+1}; \varepsilon_{j+2}...$ и плотности энергий деформирования $\varepsilon_j = \sigma_j \Delta \varepsilon_j$. В пределах участков монотонности можно считать справедливыми аналитические зависимости идеального упрочнения, а на переходных – степенного или линейного.

В современных условиях конструктор-разработчик новых, более эффективных соединений, должен учитывать самые последние достижения из области металловедения, металлургии и физико-химии при производстве как деталей пакета, так и крепежных элементов, которые являются заготовками, полуфабрикатами для образования соединений. Но как показала практика, невозможно достичь наивысших показателей качества конструктивных соединений, не имея возможности управления свойствами самих полуфабрикатов хотя бы на одном из этапов их производства. Для традиционных болтовых и заклепочных соединений основными наиболее эффективными способами конструктивно-технологического воздействия на элементы соединения продолжают оставаться различные предварительные методы поверхностно-пластического деформирования (ПДД), например, дорнование, дробеструйная обработка, применение радиального натяга и осевой затяжки в крепежных соединениях. При этом радиальный натяг является одним из наиболее эффективных средств увеличения выносливости конструкций, а применение осевой затяжки требует осторожного увеличения ее параметров вследствие возникновения автопроцесса разрушения из-за наличия фреттинг-коррозии контактирующих поверхностей. Учитывая, что наиболее распространенным фактором, используемым при проектно и конструктивно-технологическом анализе совершенства конструкции является радиальный натяг Δ , оценим элементы дис-

кретности данного параметра в применении к числу циклов до разрушения конструкции N_p . Многолетняя практика усталостных испытаний деталей из алюминиевых сплавов показывает, что функциональная зависимость $N_p(\Delta)$ имеет ярко выраженные максимумы при $\Delta_1 = 1...2$ и $\Delta_2 = 4\%$ (рис. 2.). В связи с этим, существующие отраслевые рекомендации требуют не выходить за пределы малого упругопластического натяга $\Delta = (1 \pm 0.2)\%$ из-за опасности коррозии под напряжением.

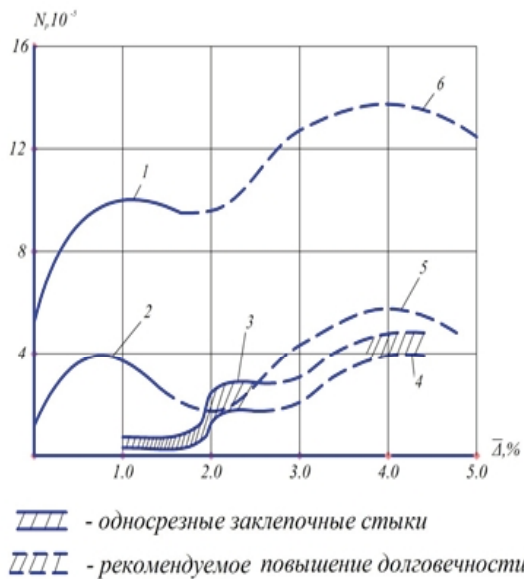


Рис. 2. Влияние радиального натяга отверстий на долговечность образцов ($R = 0,1$; $f = 12$ Гц):
 1, 2 – ненагруженные образцы из ВТ6 л.5,0,
 $M_{зат} = 2$ Дан-м, $d_{отв} = 10Н7$ мм; 1 – $\sigma_{АН} = 155$ МПа,
 2 – 192 МПа [6]; 3 – односрезовые заклепочные стыки
 (заклепки по ОСТ 134040-79, образец Д16АТ л2,0,
 $d_3 = 4.0$ мм); $\sigma_{max}^{BP} = 131$ МПа [7]; 4, 5, 6 – рекомендуемое
 повышение долговечности

Вместе с тем, два максимума на кривой $N_p(\Delta)$ свидетельствуют о наличии ступеньки некоторого постоянства или монотонного снижения величины N_p до возникновения очередного скачка $N_p(\Delta)$ при $\Delta = 4...5\%$. Подобная нелинейно-волновая картина наличия дискретных свойств при испытаниях односрезового двухрядного заклепочного соединения из листа Д16АТВ, л.1,5 мм и профиля Д16-чГ-Пр102-35 заклепками 3558А-3,5-8(9) из сплава В65, полученной обратной ручной ударной клепкой и испытанных на VEG-50 при $f = 12$ Гц, $163,8$ МПа $\in \sigma_{maxрост} \in 72,6$ МПа получена А.И.Радченко и Б.И.Химиченко [4]. Имеющиеся переходные зоны $\sigma_j = 86,6...89,3$; $\sigma_{j+1} = 100$;

$\sigma_{j+2} = 112,8$; $\sigma_{j+3} = 125...130$; $\sigma_{j+4} = 146,6$ МПа свидетельствует о скачкообразности изменения характера разрушения. Если изучение проявления дискретности считать закономерностью развития науки, а об этом свидетельствует количество и качество публикаций на эту тему, то дискретность свойств плавно переходит от микрообъектов, характеризуемых электромагнитным воздействием (атомы, молекулы), к «квантовым» гравитационным объектам. Этот процесс перехода разбивается на ряд подэтапов, подструктур [8,11,12]. Причем подобная иерархия структурных уровней должна характеризоваться на каждом из них наличием «своего» минимального кванта действия h_j , своей подструктурной постоянной Планка [2,9,12].

Отмеченные определенные успехи «дробления» пространственно-временных многообразий, связанные с применением топологических идей к квантованию пространства, к понятию сферической или тороидальной дискретности, связанной с теоремой Ферма [10], позволяют сделать вывод о том, что дискретные свойства ряда характерных параметров механики разрушения и других областей механики сплошных сред могут представлять интерес как некоторые объективные закономерности, наличие которых позволяет осуществлять процессы проектирования, прогнозирования и производства с большей точностью и лучшим качеством, а также более строго задавать пределы изменения различных конструктивно-технологических параметров.

Заключение

Таким образом, в данной статье доказана целесообразность «квантования» при решении таких задач механики сплошных сред, как порошковая технология и металлургия, трещинообразование, механика разрушения, пластическое деформирование. Сделана количественная оценка уровней дискретности для отдельных задач.

В заключение следует отметить, что основная заслуга в области квантования макросред принадлежит советскому ученому Н.Г. Четаеву, который еще в 20-30-ые годы доказал наличие устойчивых состояний вещества на основе уравнения типа Шредингера, т.е. доказал, что дискретность – это проявление принципов сохранения, устойчивости в природе.

Литература

1. Данов А.С. Исследование процесса поглощения энергии сыпучими материалами при высокоскоростном формировании [Текст] / А.С. Данов В.Д. Гречка, В.Н. Кобрин // Обработка металлов давлением в машиностроении. – Х., 1980. – Вып.16. – С.61-66.
2. Данов А.С. О континуальной теории дефектов [Текст] / А.С. Данов // Вопросы механики деформируемого твердого тела. – Х., 1984. – Вып. 3. – С.138-144.
3. Шанявский А.А. Развитие сквозной усталостной трещины в соответствии с изменением параметра акустической эмиссии [Текст] / А.А. Шанявский, Д.А. Троенкин // Наука и техника гражданской авиации. Сер. Летательные аппараты и двигатели. – 1982. – №1. – С.8-12.
4. Радченко А.И. Особенности усталостного разрушения заклепочных соединений из металла Д16АТВ, работающих в широком диапазоне циклических нагрузок [Текст] / А.И. Радченко Б.И. Химиченко // Наука и техника гражданской авиации. Сер. Летательные аппараты и двигатели. – 1982. – №1. – С.12-15.
5. Кроха В.А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации [Текст] / В.А. Кроха. – М.: Машиностроение, 1980. – 158 с.
6. Клименко В.Н. Эффективность применения осевого и радиального натягов для повышения выносливости полосы с отверстием из сплава ВТ6 [Текст] / В.Н.Клименко // Вопросы проектирования самолетных конструкций: сб. науч. тр. Харьк. авиац. ин-т. им. Н.Е. Жуковского. – Х., 1978. – Вып.1. – С.118-123.
7. Редько А.А. Исследование влияния отклонений основных технологических параметров сборки-клепки на долговечность заклепочных соединений повышенного ресурса [Текст] / А.А. Редько, А.Г. Лебединский, Е.А. Большаков // Вопросы проектирования самолетных конструкций: сб. науч. тр. Харьк. авиац. ин-т. им. Н.Е. Жуковского. – Х., 1983. Вып.4. – С.54-59.
8. DerSarkissian M. Possible evidence for gravitational bohr orbits in double galaxies [text] / M. DerSarkissian // Lettere el Nuovacimento. – 1935. – Vol.44, №8, – P.629-636.
9. Тифт В.Г. Квантованное красное смещение галактик [Текст] / В.Г. Тифт, В.Д. Кок // Небо и телескоп. – 1987. – Т.73. №1. – С.19-21.
10. Ефремов В.Н. Применение топологических идей к квантованию пространства [Текст] / В.Н. Ефремов, В.Н. Щеточкин // Проблемы теории гравитации и элементарных частиц. – 1986. – №17. – С.81-101.
11. Carvalho J.C. On large-scale quantization [text] / J.C. Carvalho // Lettere el Nuovacimento. – 1985. Vol.44, №6. – P.337-342.
12. Макроквантовые аналогии в развивающихся системах / В.А. Чумаченко. – Кр. Рог., 1988. – Деп. в УкрНИИТИ 20.01.88, №266-Ук-86. – С.18.

Поступила в редакцию 10.06.2013

О.С. Данов. Квантування енергії пружних і пластичних середовищ

Приведені експериментальні результати по осіданню циліндрових зразків, втомних випробувань при дії осевого і радіального завантаження на кріплення. Показана можливість прояву дискретних квантових властивостей енергії деформації, а також наявність особливої постійної Планка, що відповідає за даний масштабний рівень. Показана доцільність «квантування» при рішенні таких завдань механіки суцільних середовищ, як порошкова технологія і металургія, тріщиноутворення, механіка руйнування, пластична деформація, а також зроблена кількісна оцінка рівнів дискретності для окремих завдань.

Ключові слова: квантування, осадка, втомна міцність, заклепка, радіальний натяг.

A.S. Danov. Quantization energy of elastic and plastic mediums

Experimental results on cylindrical samples of sinkage, fatigue testing under the action of axial and radial load on the location bracketry is given. The possibility of manifestation of discrete quantum properties of the energy of deformation, and the availability of special Planck's constant, which is charging of given large-scale level is shown. The reasonability of «quantization» in solving such tasks of continuum mechanics, as powder technology and metallurgy, flaw formation, fracture mechanics, plastic deformation are shown, and also made a quantitative assessment of levels of discretion for single tasks.

Key words: quantization, sinkage, fatigue strength, rivet, radial interference.