

КВАЛИМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ О ПРОЧНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИ НАГРУЖЕННЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ОБРАЗЦОВ

Атрошенко С.А., Грибанов Д.А.

Санкт-Петербургский государственный инженерно-экономический университет,
г. Санкт-Петербург, Россия,
denisgrb1963@yandex.ru

Введение

В современных конструкциях к материалам, подвергаемым высоконтенсивным импульсным нагрузкам, предъявляются повышенные требования работоспособности. Часто используют элементы конструкций в виде труб. Алюминиевые трубы, в частности, находят широкое применение в промышленности, строительстве, ремонте и при других видах деятельности. Они используются в качестве конструктивных и силовых элементов в машиностроении, в авиационной и приборостроительной промышленности, а также составных элементов технологических трубопроводов, в химической промышленности, и в других отраслях производства.

В оценке качества продукции важное место занимает определение надежности. Надежность это комплексное свойство, которое включает в себя такие составляющие как живучесть, долговечность и дефектность.

Для конструкционных материалов такие качественные характеристики, как живучесть и долговечность оцениваются на основе лабораторных испытаний до изготовления из них тех или других изделий. Однако эти параметры надежности, определенные на небольших лабораторных образцах без учета условий эксплуатации конкретной детали, достаточно показательны лишь для мягких малопрочных материалов. Между тем стремление к уменьшению металлоемкости конструкций ведет к более широкому применению высокопрочных и, как правило, менее пластичных материалов с повышенной склонностью к крупному разрушению. Необходимо также учитывать то, что в условиях эксплуатации действуют факторы, дополнительно снижающие их пластичность, вязкость и увеличивающие опасность хрупкого разрушения.

В зарубежной практике широко используются испытания трубных или кольцевых образцов. Поэтому проведение исследований кольцевых образцов металлических материалов в условиях высокоскоростного нагружения магнитно-импульсным методом позволяет смоделировать дорогостоящие натурные испытания, что является актуальным. В то же время сложно оценить качество материала в этих условиях. Поэтому использование квадиметрических методов оценки материалов в условиях ударного нагружения может послужить заменой дорогостоящих испытаний изделий.

При оценке качественных характеристик сопротивления разрушению кольцевых образцов из сплава Д16, полученных по разным технологическим режимам, можно использовать метод секторных диаграмм, горизонтальных гистограмм и обобщенную функцию желательности.

Материал и методика исследования

Материалом для исследования являются кольцевые образцы из алюминиевого деформируемого сплава Д16 после ударного воздействия на магнитно-импульсной установке.

Методика магнитно-импульсного нагружения. Две модификации магнитно-импульсного метода [1] с периодами синусоидального тока $T = 7,4$ мкс и с периодом 1 мкс были реализованы на базе генератора коротких высоковольтных импульсов ГКВИ-300, обеспечивающего формирование электрических напряжений с амплитудами 30 – 300 кВт.

Ток, проходящий по катушке, на которой коаксиально располагается кольцевой образец, наводит в нем индукционный ток, а взаимодействие этих токов порождает силу отталкивания между соленоидом и кольцом. Под действием этой силы кольцо радиально расширяется до скоростей 80 – 200 м/с, что соответствует скоростям деформации порядка 10^4 с⁻¹. Растяжение кольца снималось высокоскоростной камерой, фиксирующей все стадии расширения кольца, образования шеек и фрагментации, поддерживающим синхронизацию и наложение кадров [2].

Металлографические исследования. Проведено исследование структуры и пластичных свойств (количество вязкой составляющей в изломе, B, %) образцов, полученных в результате испытаний магнитно-импульсным методом.

Исследование поверхностей разрушения алюминиевых образцов после испытаний осуществлялось на оптическом микроскопе NEOPHOT-32 в темном поле. Поверхность вязкого излома характеризуется тусклым серым видом с характерными «волокнами». Поверхность хрупкого излома кристаллическая, без видимых следов пластической деформации на поверхности разрушения.

Количество вязкой составляющей в изломе (B, %) определялось по формуле: $B = 100 - X$ (ГОСТ 30456-97), где X – доля хрупкой составляющей в рассматриваемой площади излома. Площадь хрупкой составляющей определялась измерением площади хрупкого излома по фотографии.

Методика квадиметрической оценки. Оценка качественных характеристик сопротивления разрушению кольцевых образцов из сплава D16, полученных по разным технологическим режимам, осуществлялась с использованием метода секторных диаграмм [3], горизонтальных гистограмм [4] и функции желательности [5-7].

Результаты экспериментов и их обсуждение

Сравнительные количественные данные испытаний A, B, C, D [2] образования шеек и фрагментов при различных скоростях растяжения колец сплава Al 6061-O представлены на рис. 1.

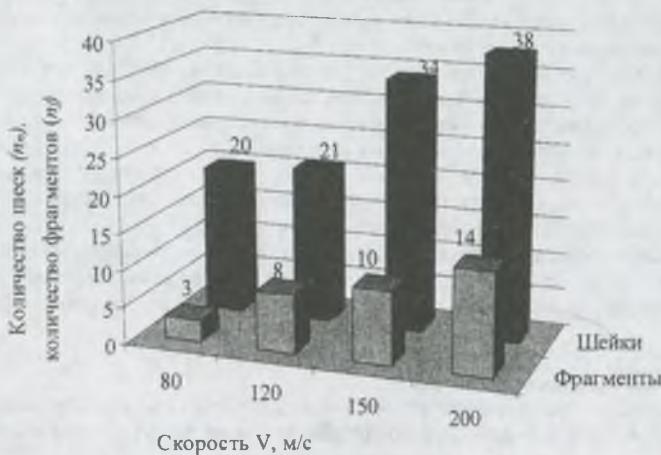


Рис. 1. Сравнительная динамика образования шеек и фрагментов при различных скоростях растяжения колец из Al 6061-O.

Проанализировав диаграмму (рис.1), можно сделать вывод, что локализация деформации при увеличении скорости до 200 м/с возросла в 1,9 раза, а хрупкое разрушение – в 4,7 раза. Причем, наиболее интенсивный рост локализации деформации наблюдается при скорости 120–150 м/с, а хрупкое разрушение наиболее интенсивно развивается в интервале скоростей 80–120 м/с.

Проведена квадратиметрическая оценка образцов из сплава Д16, подвергнутых различным режимам магнитно-импульсного нагружения:

Метод секторных диаграмм выявил, что уровень качества образца, испытанного при скорости нагружения 120 м/с, примерно в 1,5 раза выше уровня качества образца, испытанного при скорости нагружения 226 м/с;

Оценка по методу горизонтальных гистограмм показала, что режим испытания № 2 с существенно более коротким временем воздействия предпочтительнее режима №1 по таким показателям, как длительность импульса, относительное удлинение и степень деформации, несмотря на проигрыши по другим показателям;

Номограмма желательности выявила, что наиболее значимый показатель качества – количество вязкой составляющей в изломе В, % - находится в пределах уровня желательности «отлично», в то время как показатели по нормативно-технической документации находятся в интервале уровней желательности от «удовлетворительно» до «хорошо». Значение обобщенной функции желательности имеет максимальное значение 0,782 для режима с меньшей длительностью нагружения, что говорит о преимуществе использования режима с существенно более коротким импульсом ударного воздействия для проведения испытаний кольцевых материалов.

Таким образом, представленные квадратиметрические методы оценки сопротивляемости металлических материалов хрупкому разрушению позволяют эффективно оценить уровень надежности материала в экстремальных условиях нагружения.

Список литературы

1. Морозов В.А., Петров Ю.В., Лукин А.А., Кац В.М., Удовик А. Г., Атрошенко С.А, Грибанов Д.А., Федоровский Г.Д. Исследование прочности металлических колец при ударном воздействии магнитно-импульсным методом. // Журнал технической физики. 2011. т. 81, вып. 6. С. 51.
2. H. Zhang, K. Ravi-Chandar. On the dynamics of necking and fragmentation – I. Real-time and post-mortem observations in Al 6061. International Journal of Fracture, 2006. – 142: – Р 183-217
3. Железнов Г.С. Графическое представление уровня и индекса качества продукции. Методы менеджмента качества. // 2002. №12. С. 26-27
4. Аронов И.З., Бурцев С.Ю., Вахитов С.Ю. Новый метод визуализации анализа качества и конкурентоспособности продукции. // Надежность и контроль качества. 1995. №10. с. 9-14.
5. Азгальгов Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров. М.: Экономика, 1982. С. 345.
6. Лунькова С.В., Матрохин А.Ю. Измерение качества (квадратиметрия) текстильных материалов и товаров: методические указания. Иваново: ИГТА, 2004. С. 41.
7. Рыбинцев В.А., Горюнов А.Н., Саламатова Н.С. Теоретические аспекты оценки качества и конкурентоспособности товаров народного потребления. // Точка зрения. С. 45 – 52.