

ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ НАГРУЖЕНИИ

Максимов Н.Ф., Кленков Р.Р., Кудрявцев К.А.

*Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А.Н. Туполева – КАИ, Казань*

Ключевые слова: авиационные материалы, скорость нагружения, интенсивность деформации, динамические испытания, испытательные машины, экспериментальные методы.

Аннотация. Во время внезапного разрушения авиационных конструкций происходит большая многоосевая пластическая деформация. Существует проблема построения адекватной модели поведения авиационного материала, которую возможно использовать при разработке конструкции новых транспортных средств. Для металлов испытания на растяжение и кручение являются обычными методами для определения характеристик текучести, поведения пластических напряжений и деформации и деформации разрушения при различных уровнях напряжения. В зависимости от скорости нагружения применяются известные методы измерения и универсальные измерительные машины. В работе рассмотрены экспериментальные методы и условия для некоторых типов динамических испытаний.

SAMPLE TESTING UNDER HIGH-SPEED LOADING

Maksimov N.F., Klenkov R.R., Kudryavtsev K.A.

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan

Keywords: aviation materials, loading rate, strain intensity, dynamic tests, testing machines, experimental methods.

Abstract. During the sudden failure of aircraft structures, a large multiaxial plastic deformation occurs. There is a problem of constructing an adequate model of the behavior of aviation material, which can be used in the development of new vehicles. For impact and torsion testing of metals are common methods for determining the yield characteristics, the behavior of plastic stresses and the deformation and deformation of various changes when stresses occur. Depending on the loading speed, limit measurements and universal measuring machines are used. The paper considers experimental methods and conditions for some types of dynamic tests.

Характеристики разрушения многих авиационных материалов зависят, кроме всего прочего, также от скорости нагружения [1]. Для численного расчета безопасности при столкновении необходимы соответствующие данные-диаграммы деформирования. Такие данные получаю с помощью сервогидравлических высокоскоростных испытательных машин, которые позволяют определять зависимые от интенсивности деформации характеристики в широком диапазоне скоростей нагружения. На таких машинах проводятся испытания на пробой и быстрый разрыв, а также отслаивание и срез, с высокой скоростью.

Высокоскоростные испытательные машины представляют собой комплексную систему, все компоненты которой (гидростанция, испытательная рама с высокоскоростным цилиндром и защитным экраном, блок ИУР-электроники, ПК и программное обеспечение) оптимально согласованы друг с другом.

В этой работе на основе результатов физики металлов и классической теории волны упругих напряжений [2] была разработана упрощенная одномерная модель волны упругих напряжений. Для этой модели было применено несколько допущений, так что тест-образец был смоделирован пятью тонкими стержнями с различными размерами сечения и свойствами материала. Путем реализации полученных основных уравнений в программном обеспечении MATLAB, которое позволяет комбинировать с алгоритмом математической оптимизации (последовательное квадратичное программирование), как характеристика тест-образца, так и его чувствительность к геометрическим параметрам. Разработанная модель позволяет не только правильно рассчитать принципиальную конструкцию разреза, но и правильно предсказать эффекты, которые до сих пор не учитывались.

Во время эксплуатации летательных аппаратов возможны критические ситуации, когда происходит большая многоосевая пластическая деформация конструкции с высокой скоростью [3]. Важно, что поведение авиационного материала должно быть правильно описано для моделирования методом конечных элементов, которое используется при разработке конструкции транспортного средства. Для металлов испытания на растяжение и кручение являются обычными методами для определения характеристик поверхности текучести, поведения пластического напряжения и деформации и деформации разрушения при различных состояниях напряжения (трехосность напряжения и угол наклона). Для определения этих характеристик для испытаний на растяжение обычно используются три различных метода измерения: квазистатическая испытательная машина с длинным образцом на растяжение; сервогидравлическая быстроходная испытательная машина с образцами на растяжение меньшего размера; и Split-Hopkinson-Bar (SHB) для диапазона с очень маленькими образцами. Экспериментальные методы и условия, то есть измерение силы, деформации, геометрии и размера образца, а также фиксация образца, различны для всех трех типов испытаний, представляющих разные диапазоны скоростей деформации. Это может привести к неоднородности поведения материала [4].

Было предложено использовать очень длинный стержень в SHB для измерения свойств материалов при растяжении при высокой скорости деформации. Измеренные кривые течения отличаются от кривой, полученной при гидравлическом испытании на растяжение. Причиной являются колебания длинного стержня. Многие исследователи сообщают, что силы могут быть измерены с уменьшенными колебаниями, когда тензометрические датчики для измерения силы размещаются на нижней плечевой области образца над областью зажима образца при высокой скорости деформации. Для каждого теста должен применяться новый калиброванный тензометрический датчик, что требует больших затрат и времени.

Таким образом, следует применять усовершенствованный метод, используя специальную конструкцию захвата с многократным тензометрическим датчиком. При измерениях неизбежны сильные колебания значений силы. Поэтому

измеренные высокоскоростные кривые растяжения-перемещения/времени всегда фильтруются для получения гладких кривых напряжение-деформация.

Также предлагается использовать более длительное время нарастания нагрузки для решения проблемы связанных колебаний. Недостатком является то, что это предварительное условие обычно невозможно выполнить из-за короткой продолжительности испытаний при высоких требуемых скоростях и требования определенной высокой скорости деформации. Основываясь на положительном эффекте, определенном для измерения силы в нижней области над областью зажима тест-образца, следует выполнить обширный КЭ анализ на высокоскоростных испытаниях с использованием гидравлической машины. Там данные САПР всей гидравлической растягивающей машины были предоставлены и смоделированы с использованием LS-DYNA. Частотный анализ показывает, что, если собственная частота тест-образца выше, колебания силы в области образца ниже первого плеча могут быть дополнительно уменьшены.

Список литературы

1. Тхапсаев В.А., Нарतिकоева Л.Г., Уртаев Т.А. Модернизация универсальной испытательной машины для снятия характеристики статического нагружения с использованием современного электронно-измерительного оборудования // Известия Международной академии аграрного образования. – 2017. – № 37. – С. 36-39.
2. Муравлёв А.В., Девятов А.С. Развитие теории упругопластических процессов А.А. Ильюшина и экспериментально-теоретических методов исследования вязкопластических свойств материалов при конечных деформациях // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2016. – № 1. – С. 84-90.
3. Петров А.А. Влияние режимов нагружения транспортных средств на долговечность элементов несущих систем // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. – 2018. – Т. 10, № 2. – С. 68-73.
4. Балохонов Р.Р., Сергеев М.В., Романова В.А. Моделирование деформации и разрушения поликристаллов алюминиевого сплава в условиях динамического нагружения // Физическая мезомеханика. – 2023. – Т. 26, № 1. – С. 31-46.

Сведения об авторах:

Максимов Николай Флавиевич – к.т.н., старший преподаватель;

Кленков Ринат Равилевич – аспирант;

Кудрявцев Кирилл Алексеевич – студент.