

УДК 621.981

ПОДХОДЫ К ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЗАДАЧ ЯВНОЙ ДИНАМИКИ

Илюшкин М.В.

К.т.н., зам. генерального директора по науке АО «Ульяновский НИАТ»

Аннотация. В статье описаны подходы к идентификации параметров разрушения материала применительно к программе динамического анализа LS-DYNA. Описаны варианты с учетом зоны шейкообразования и разрушения. Рассмотрены основы модели разрушения Gissmo

Ключевые слова: Идентификация, модели разрушения, LS-DYNA, шейкообразование, GISSMO

APPROACHES TO IDENTIFYING MATERIAL FAILURE PARAMETERS FOR EXPLICIT DYNAMICS PROBLEMS

Ilyushkin M.V.

Deputy of general director in science PC "ULYANOVSK NIAT", c.t.s.

Abstract. The article describes approaches to the identification of material failure parameters in the LS-DYNA dynamic analysis program . Variants are described taking into account the zone of neck formation and destruction. The basics of the GISSMO destruction model are considered

Key words: Identification, material failure, LS-DYNA, GISSMO, neck formation

Развитие разделительных процессов обработки давлением и механообработки связано с использованием моделей материала требующих определение параметров разрушения. Для этого требуется проведение ряда тестовых экспериментов и проверка конечно-элементным моделированием.

Наиболее распространенным испытанием упруго-пластичного материала является испытание на одноосное растяжение, позволяющее получить диаграмму растяжения материала.

В данном случае при исследовании разрушения материала представляет интерес зона шейкообразования (рис. 1) и предел разрушения, при котором происходит разрушение образца.

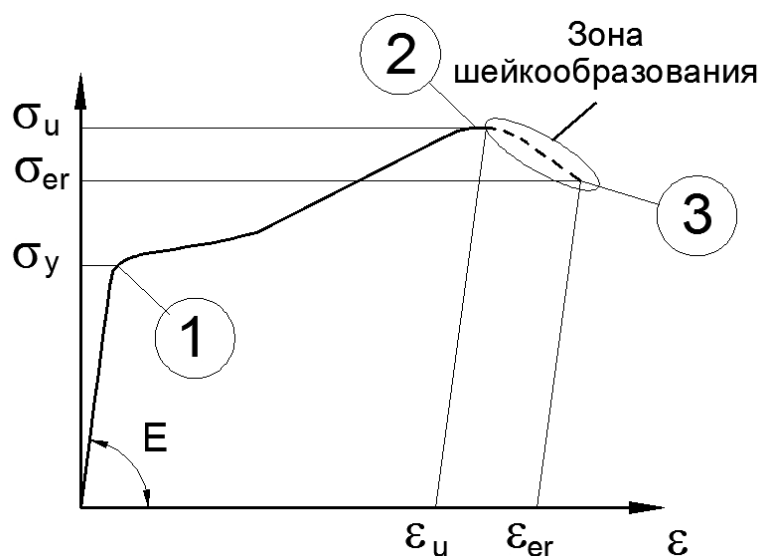


Рис. 1. Характерные точки на диаграмме одноосного растяжения и основные механические параметры

В справочной литературе параметр шейкообразования связан со значением поперечного сужения ψ , при этом предельная деформация (деформация разрушения) может быть определена из следующей формулы:

$$\varepsilon_{er} = \ln\left(\frac{1}{1-\psi}\right) \quad (1)$$

При отсутствии в справочных данных параметра ψ предельная деформация может быть найдена по следующей формуле:

$$\varepsilon_{er} = n \cdot \ln(1 + \delta) \quad (2)$$

где n – параметр, связанный с пластичностью материала.

Например, для материала из низкоуглеродистой стали, этот параметр может быть принят равным 3.

Все параметры соответствующие упруго-пластическому поведению материала могут быть введены в программы явного анализа LS-Dyna, ANSYS LS-Dyna, ANSYS Autodyn или ANSYS Explicit STR.

При описании зоны шейкообразования можно использовать несколько подходов:

1. Измерение минимальной площади образца S_t , параметров R_1 и R_2 в зоне шейкообразования на всей стадии испытания, тогда в любой момент времени рассчитывается действующая деформация:

$$\varepsilon_{neck} = \ln\left(\frac{1}{1-\psi_t}\right) = \ln\left(\frac{d_0}{d_t}\right) \quad (3)$$

$$\sigma_{er} = \frac{F_{er}}{\pi r_1^2 \left(1 + \frac{r_1}{4r_2}\right)} \quad (4)$$

$$(5)$$

где d_t, S_t – соответственно диаметр и площадь в зоне шейкообразования в момент времени t .

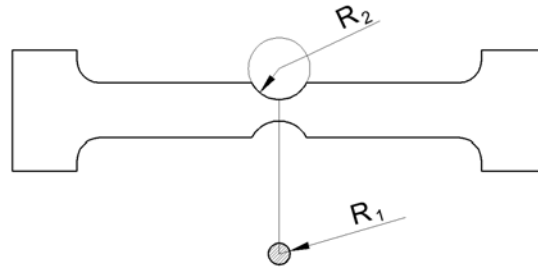


Рис. 2. Измерение величин радиусов при испытании на одноосное растяжение

2. К исходной кривой от точки соответствующей пределу прочности σ_u добавляется наклонная линия, описывающая зону шейкообразования.

В первом приближении кривая упрочнения за точкой локального сужения имеет угол наклона соответствующий значению σ_u [4]. Предельная деформация соответствует значению ϵ_{er} и находится по формуле

$$\epsilon_{er} = \ln\left(\frac{1}{1-\psi}\right), \text{ а значение } \sigma_{er} \text{ из построения.}$$

Данный метод удобно применять, когда у нас имеются только справочные данные, но нужно учесть зону шейкообразования и разрушение.

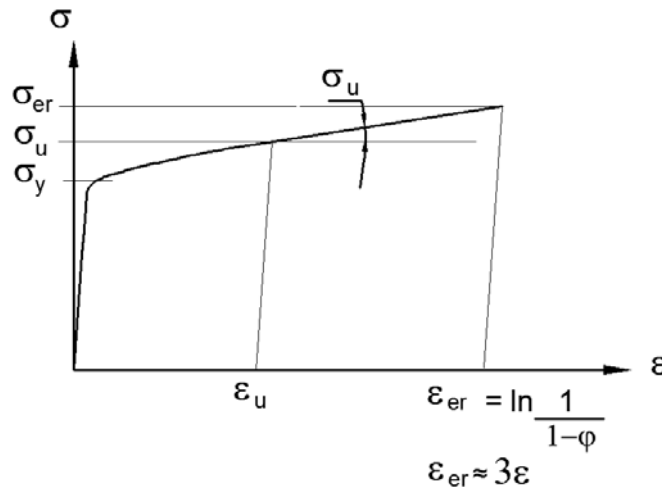


Рис. 2. Кривая упрочнения по углу наклона в зоне шейкообразования

3. Проведение прямой от точки предела прочности до точки разрушения [5]. В этом случае требуется определение точек σ_{er} и ϵ_{er} и проведение линии от σ_u к этой точке [6].

$$\sigma_{er} = \frac{F_{er}}{S_K} = k \frac{\sigma_u}{1-\psi} \tag{6}$$

где F_{er} - усилие разрушения,

S_K – площадь шейки после разрушения

Где $k = F_{er} / F_{\max}$ - коэффициент разрушающей нагрузки (обычно находится в диапазоне 0,6...1).

Последние способы имеют недостатки, а именно кривая на графике представляет собой линию между σ_B и σ_{er}

Избежать этого позволяет способ получения кривой упрочнения с помощью итерационного приближения графика усилия, полученного при моделировании к графику усилия в эксперименте [10].

При моделировании процессов деформирования, например, процессов ОМД материал может находиться в различном напряженном состоянии, поэтому важно учитывать существующее напряженное состояние в каждый момент деформирования. Это особенно важно учитывать при моделировании процессов разрушения, где от напряженного состояния меняется величина деформации разрушения. К примеру, при сжатии деформация разрушения значительно больше, чем при растяжении и на материал можно воздействовать более жесткими режимами деформирования. Этим объясняется применение метода стесненного изгиба на предприятии АО «Ульяновский НИАТ», где деформациями сжатия получают профили из трудно-деформируемых материалов.

Правильно учитывать поведения материала в зависимости от напряженного состояние позволяют и программы динамического моделирования, например, программа ANSYS/LS-DYNA. Программа позволяет ввести параметры триаксилити и параметры Лоде, которые учитывают действующее напряженное состояние. Подробно это было описано ранее в источнике [11].

В программе используются несколько моделей для моделирования процесса разрушения материала. Например, MAT123, MAT224 и др. Кроме того, распространенным является модель GISSMO, обеспечивающая различные возможности при моделировании разрушения. Эта модель разрушения, как правило, используется с моделью материала Джонсона-Кука MAT15 или кусочно-линейной моделью MAT24. Сами параметры разрушения для GISSMO задаются в материале MAT_ADD_EROSION. Для калибровки данной модели кроме одноосного растяжения образца требуется проведения испытания материала на сдвиг, выдавливание сферическим пуансоном (испытание на получение FLD диаграмм), 3-х точечный изгиб [11].

Модель разрушения Gissmo использует феноменологический критерий пластического разрушения, где кривая деформации разрушения определяется в зависимости от напряжения триаксилити (напряженного состояния) в плоском напряженном состоянии и может быть определена экспериментальными исследованиями указанными выше. Кроме этого, требуется ввести кривую неустойчивости, определяющую эквивалентную пластическую деформацию в начале шейкообразования.

Получение точных параметров модели разрушения Gissmo является не простой задачей, однако это значительно увеличит точность результатов моделирования технологических процессов, при которых деформация заготовки происходит в различных напряженных состояниях (например, сжатие заготовки при стесненном изгибе) или процессов имеющих разрушение (разделительные процессы ОМД и процессы механообработки).

Библиографический список

1. DOT/FAA/AR-MMPPS-01 Metallic Materials Properties Development (MMPDS).

2. Циклические деформации и усталость материалов. Том 2. Долговечность металлов с учетом эксплуатационных и технологических факторов. Под редакцией Трошенко В.Т. – Киев: Наукова думка. 1985.

3. Гохфельд Д.А., Гецов Л.Б., Кононов К.М., Кульчихин Е.Т., Ребяков Ю.Н., Саадаков О.С., Тимашев С.А., Чепурский В.Н. Механические свойства сталей и сплавов при нестационарном нагружении. Справочник. Екатеринбург: УрО РАН, 1996.

4. Кирсанов А.Р. Методика оценки повреждаемости ГТД на этапах его создания, изготовления и эксплуатации от поражающего воздействия птиц. Диссертация на соискание к.т.н. Москва 2016 г.

5. LS-DYNA Analysis for structural mechanics. Predictive Engineering.

6. Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. Сопrotивление материалов: Учебное пособие. – М.: Наука. Гл. ред. – мат. Лит, 1986 – 560 с.

7. LSTC, “LS-DYNA Keyword User’s Manual Volume II Material Models”

8. Гецов Л.Б. Материалы и прочность газовых турбин. Конструктивная прочность, опыт эксплуатации, методы расчета прочности и ресурса, детали из конструкционных керамических материалов / Л.Б. Гецов. – Рыбинск: ООО “Издательский дом Газотурбинные технологии”, 2011. – Книга 2. – 496 с.

9. Manjoine, M.J.: Creep-Rupture Behavior of Weldments /// 1982.

10. Константинов А.Ю. Экспериментально-теоретический подход к исследованию высокоскоростного деформирования и разрушения материалов с использованием мерных стержней. Диссертация на соискание д.т.н. Нижний Новгород 2018 г.

11. Илюшкин М.В. Идентификация упруго-пластических моделей материала для задач явной динамики // Наука, теория, практика авиационно-промышленного кластера современной России. Материалы IV Международной научно-производственной конференции, приуроченная ко Дню Российской науки и 35-летию АО “Ульяновский НИАТ” (г. Ульяновск, 7-8 февраля 2019 г.): сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2018. – с. 26-40.

12. Calibration of GISSMO model for fracture prediction of a super high formable advanced high strength steel. Xiaoming Chen, Guofei Chen, Lu Huang, Ming F. Shi. 15th International LS-DYNA User Conference.