

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВИРТУАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЯХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА УДАРНУЮ ПРОЧНОСТЬ

А. В. Омелюсик

*Государственное научное учреждение «Объединенный институт
машиностроения НАН Беларуси», г. Минск*

Научный руководитель А. В. Шмелев

Конструкции мобильных машин должны обеспечивать безопасность пассажиров при аварийных ситуациях, так как аварийные нагрузки приводят к значительным пластическим деформациям кузовных конструкций, вплоть до их разрушения. С целью обеспечения безопасности новая техника проходит испытания по соответствующим видам и схемам нагружения согласно Правилам № 66, 29, 72 и др. Правила допускают проводить виртуальные испытания с помощью современных программных комплексов, таких как LS-DYNA, ABAQUS, MSC Dytran, AutoDyna и др. Одним из условий получения адекватных результатов моделирования подобных процессов является использование моделей материалов с достоверными, в рамках инженерных расчетов, параметрами. Однако параметры моделей материалов необходимо определять исходя из имеющихся экспериментальных данных [1], [2]. В связи с этим возникает необходимость разработки комплексного подхода к обработке экспериментальных данных с целью определения параметров моделей материалов.

На сегодняшний день благодаря своей широкой базе встроенных моделей материалов большую популярность в области явного моделирования приобрел программный комплекс LS-DYNA. В нем используются модели материалов различной сложности. Простые модели, типа билинейной, требуют минимального количества параметров, но являются наименее достоверными. Сложные модели включают в себя параметры, определить которые затруднительно из-за необходимости проведения специализированных, трудоемких и дорогостоящих экспериментов. Результаты наблюдений показывают, что при динамическом нагружении конструкций транспортных средств можно допустить независимость деформации материала от скорости и температуры. В связи с этим, для решения данного типа задач целесообразным является использование распространенной полилинейной модели материала *MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY (024).

В LS-DYNA в качестве характеристик материала задаются истинные значения напряжений и пластических деформаций. Поэтому при обработке экспериментальных данных сначала необходимо перейти от условных деформаций и напряжений к истинным. В результате пересчета получается зависимость, не учитывающая факт локального образования шейки, активное формирование которой происходит на участке от предела прочности до момента разрушения. Для устранения данного недостатка предлагается кривую деформирования разбить на три характерных участка и для каждого участка определить ключевые точки.

1. Упругий участок диаграммы. Оканчивается в точке, значение которой соответствует пределу текучести:

$$\varepsilon_1 = \sigma_T, \sigma_1 = \sigma_T. \quad (1)$$

2. Участок пластического упрочнения. Заканчивается в точке, значение которой соответствует временному сопротивлению и началу образования шейки. Для данной точки определяем истинные значения напряжения и деформации [3]:

$$\sigma_2 = \sigma_b(1 + \delta_b),$$

$$\varepsilon_2 = \ln\left(\left[1 - \psi\right] \left[\frac{1}{1 - \psi} - \frac{\sigma_k}{E}\right]\right), \quad (2)$$

где σ_b – временное сопротивление, полученное в эксперименте; E – модуль Юнга, полученный в эксперименте; δ_b – инженерные деформации образца, соответствующие временному сопротивлению, полученные в эксперименте.

3. Участок образования шейки. Шейка образуется вплоть до разрушения образца, поэтому окончанием данного участка будет точка со значениями, соответствующими моменту разрушения [4]:

$$\sigma_3 = \frac{P_k}{\pi r_1^2 \left(1 + \frac{r_1}{4R}\right)};$$

$$\varepsilon_3 = \ln\left(\left[1 - \psi\right] \left[\frac{1}{1 - \psi} - \frac{\sigma_k}{E}\right]\right), \quad (3)$$

где P_k – значение нагрузки в момент разрушения; r_1 – радиус наименьшего поперечного сечения шейки; R – радиус кривизны контура шейки в точке наименьшего поперечного сечения в случае испытаний плоских образцов σ_3 можно определить по уравнению Остсемина [5].

Радиус кривизны контура шейки в точке наименьшего поперечного сечения R может быть определен графическим способом. Контрастное фотоизображение образца после испытаний импортируется в графический редактор, позволяющий получить измерения соответствующих параметров. По фотоизображению определяются относительные геометрические параметры образца. Абсолютная величина одного из параметров (диаметр рабочей части) находится путем прямого измерения, например, при помощи штангенциркуля или микрометра, а неизвестный параметр находится на основании составленной пропорциональной зависимости.

После получения предварительной кривой деформирования задаются дополнительные, уточняющие точки на участке от предела текучести до временного сопротивления. Для определения точек используются уравнения (2).

Для апробации предложенной методики были проведены испытания круглых образцов стали 40Х, изготовленных согласно ГОСТ 1497–84 «Методы испытаний на растяжение». Затем в программном комплексе конечно-элементного анализа ANSYSLS-DYNAPC была разработана объемная конечно-элементная модель образца материала (рис. 1).

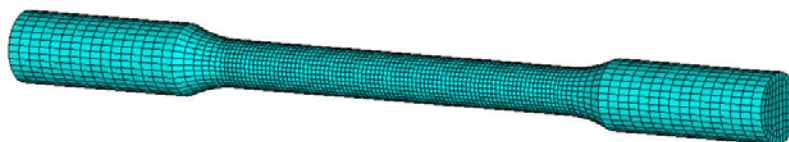


Рис. 1. Конечно-элементная модель образца материала

Конечно-элементная модель образца в формате k -файла передавалась для задания свойств материала и расчетных параметров в программу пре/постпроцессор

LS-PrePost. Далее к образцу прикладывались граничные условия и нагрузки, соответствующие экспериментальным.

Оценка достоверности определения параметров модели материала выполняется по соответствию зависимости нагрузки, возникающей в результате реактивного действия, от относительной деформации образца, т. е. выполняется переход к условным характеристикам материала, регистрируемым в ходе эксперимента. На рис. 2 приведено графическое сопоставление экспериментальных и расчетных данных.

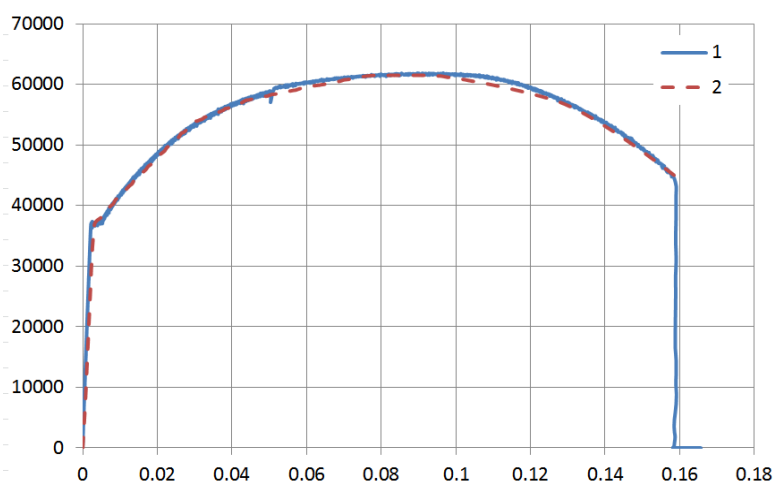


Рис. 2. Диаграмма деформирования образца Стали 40X:
1 – экспериментальные данные образца; 2 – расчет в LS-DYNA по уточненным параметрам модели материала *Mat_024

Как видно из рис. 2, результат моделирования характеристик стали 40X показывает высокую сходимость с результатами натуральных экспериментов. Погрешность максимальной нагрузки, нагрузки в момент разрушения и относительного удлинения составила 0,7, 0,7 и 2,4 % соответственно. При этом определение промежуточных точек на участке от предела текучести до временного сопротивления позволило получить кривую деформирования более пологой и повысить точность расчетов.

Разработанная методика определения параметров моделей материалов может успешно использоваться при виртуальных испытаниях машиностроительных конструкций на ударную прочность. Дальнейшее ее совершенствование может быть достигнуто путем разработки статистического подхода к обработке результатов серий испытаний, что позволит получать некую условную диаграмму растяжения материала, обеспечивающую запас прочности или гарантии требуемых прочностных свойств изделий и конструкций.

Литература

1. Садырин, А. И. Компьютерные модели динамического разрушения конструкционных материалов : учеб.-метод. пособие / А. И. Садырин. – Н. Новгород : Нижегород. гос. ун-т, 2010. – 35 с.
2. Форенталь, М. В. Динамика деформирования и разрушения пластин при высокоскоростном нагружении ударником со сложной структурой : дис. ... канд. техн. наук : 01.02.06 / М. В. Форенталь. – Челябинск, 2010. – 174 с.
3. Лопатина, Е. С. Механические свойства металлов. Конспект лекций / Е. С. Лопатина, А. А. Ковалева, В. И. Аникина // ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – 2008. – Режим доступа: http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/1822/u_lectures.pdf.

4. Малинин, Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести : учеб. для студентов вузов / Н. Н. Малинин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1975. – 400 с.
5. Остсемин, А. А. К анализу напряженного состояния в эллиптической шейке образца при растяжении / А. А. Остсемин // Проблемы прочности. – 2009. – № 4. – С. 19–28.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РОТОРОВ ДВУХРОТОРНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА ТИПА РУТС

М. И. Петоченко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь

Научный руководитель Д. Л. Стасенко

Кулачковые двухроторные насосы Рутса являются стопроцентно безмасляными, что очень важно для многих рабочих процессов. Они являются незаменимыми в таких областях, как пищевая и кондитерская промышленность, производство кисломолочных продуктов, мясное производство, фармацевтика, медицина, косметическая промышленность, производство бытовой химии и т. д. Следовательно, разработка такого насоса, является актуальной и необходимой задачей в промышленности.

Важнейшим этапом при проектировании любого двухроторного вакуумного насоса является профилирование роторов.

Объемные машины осуществляют процесс сжатия в изолированных полостях, образующихся между роторами, между корпусом и роторами.

Минимальные перетечки газа через зазоры между роторами, роторами и корпусом обеспечивают более совершенный процесс сжатия и, следовательно, меньшие затраты энергии на сжатие газа. Основная задача профилирования – по выбранной части профиля построить сопряженную с ней часть другого профиля. Эту задачу решают для геометрических профилей, т. е. профилей, между которыми нет зазора. При профилировании роторов вакуумных насосов в основном применяют окружные (рис. 1), циклоидально-окружные (рис. 2) и профили со срезанной головкой (рис. 3).

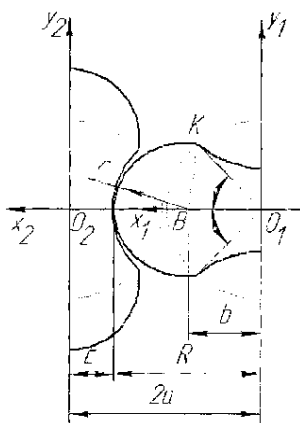


Рис. 1. Роторы с окружным профилем

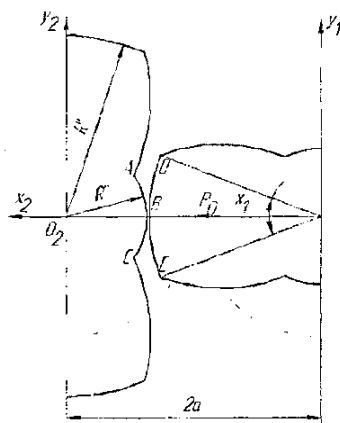


Рис. 2. Роторы с циклоидально-окружным профилем

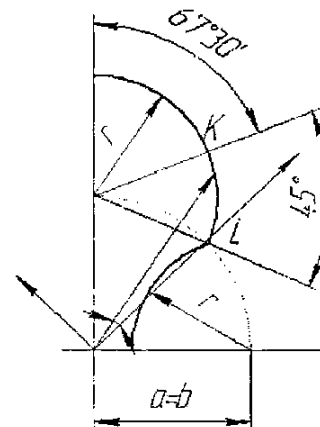


Рис. 3. Профиль с головкой, срезанной радиусом R