ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД

Всероссийская молодёжная научная конференция

Томск, 16–19 октября 2010 г.

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2010

ТРУДЫ ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
Том 276 Серия физико-математическая

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКИ ОБРАЗЦОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ*

А.А. Козулин, А.В. Корепанов, А.Е. Широбоков

Предложена физико-математическая модель, предназначенная для имитационного компьютерного моделирования динамических испытаний образцов из конструкционных алюминиевых сплавов на глубокую динамическую вытяжку при различных скоростях индентора от 1 до 20 м/с. Обработаны экспериментальные данные с целью выявления особенностей деформирования материалов.

NUMERICAL SIMULATION OF ALUMINUM ALLOYS UNDER DEEP DRAWING IMPACT TESTING

A.A. Kozulin, A.V. Korepanov, A.E. Shirobokov

The present research concentrates on the development of physical-mechanical properties of aluminum alloys under deep drawing impact testing. The material model was further used to predict the behavior of a aluminum alloys in a structural members. Johnson-Cook material models were used in the present research.

Общепринятый метод определения пластичности при динамических нагружениях листовых металлов и сплавов включает в себя двухосное растяжение жестко закрепленного образца для испытаний, производимое путем моделирования глубокой вытяжки. По условиям испытания требуется, чтобы индентор в форме шарика из соответствующей спецификациям стали вдавливался и полностью пробивал жестко зафиксированный образец листового материала. При данном виде нагружения материал образца испытывает большие пластические деформации. Поэтому сложность моделирования данных процессов состоит в правильном подборе определяющих уравнений и их параметров.

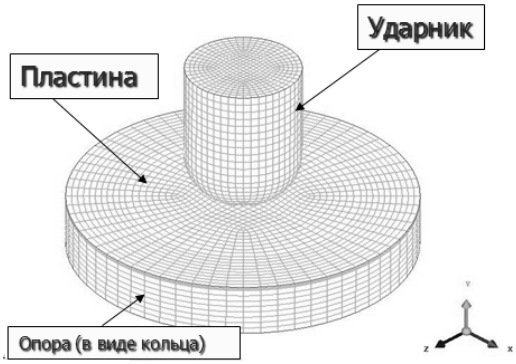

Рис. 1. Расчетная сеточная модель

* Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

В работе методами численного компьютерного моделирования проводили исследования глубокой динамической вытяжки в образце, изготовленном из конструкционного алюминиевого сплава АМг6. В общем виде применительно к условиям поставленной задачи решение системы аналитическими методами не представляется возможным. Решение задачи в данной постановке возможно только численными методами [1].

Задача о моделировании глубокой динамической вытяжки при динамических испытаниях подразумевает численное решение с помощью конечно-разностных методов. Расчетная область, подготовленная средствами программного комплекса ANSYS Workbench 11, представлена на рис. 1. Вычислительный эксперимент проведен в специализированной для решения динамических задач программе AUTODYN. Образец в форме круглой пластины опирается на подвижную опору в виде кольца, индентор закреплен неподвижно. Опора с постоянной скоростью движется вдоль оси деформирования, тем самым перемещая образец в сторону взаимодействия с индентором. Взаимодействие индентора с образцом происходит до достижения нагрузок, соответствующих предельно допустимым деформациям материала образца.

Для описания механического поведения образца из алюминиевого сплава АМг6 в [2, 3] предложено использовать вариант модели механического поведения, учитывающий упругопластическое поведение и упрочнение материала, – модель Джонсона–Кука:

$$\sigma = [A + B\varepsilon_p^n]\left[1 + C\log\frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon_0}\right]\left[1 - \left(\frac{T - T_{room}}{T_{melt} - T_{room}}\right)^m\right],$$

где *A, B, C, n, m* – константы материала; T_{room} – комнатная температура (293 К); T_{melt} – температура плавления материала; ε_p – интенсивность пластической деформации.

Величина предельно допустимой деформации принималась равной предельной деформации при растяжении того же материала на одноосное растяжение и определялась из экспериментальных данных. В процессе деформации образца предполагается, что его материал упрочняется, т. е. повышается предел текучести, поэтому критерием прочности выбран следующий критерий:

$$\sigma_{mis} \le \sigma_в,$$

где $\sigma_в$ – предел кратковременной прочности, а $\sigma_{mis} = \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$ – интенсивность напряжений.

Плотность элементов расчетной модели подбиралась из условий сходимости численных результатов. При этом расчетная сетка в инденторе и опоре должна иметь сгущение в области их непосредственного контакта с образцом. В расчете для всех частей использовался автоконтакт по типу поверхность – поверхность.

Получены расчетные зависимости усилий и напряжений алюминиевых сплавов при скоростях нагружения 5, 7.5, 10, 15, 20 м/с.

Из сравнения полученных зависимостей при всех скоростях нагружения видно качественное и количественное согласие экспериментальных и расчет-

ных данных на участке предразрушения, что говорит о правильном выборе определяющего уравнения и плотности расчетной сетки. Представленная вычисленная модель не имеет модели разрушения, поэтому сравнение численных и экспериментальных данных проводится только до предельно допустимых нагрузок исходя из выбранного критерия прочности.

Разработан алгоритм и опробована методика расчета ударного взаимодействия деформируемых твердых тел на примере экспериментов на глубокую динамическую вытяжку с использованием программного комплекса ANSYS Workbench 11. Показана принципиальная возможность моделирования процессов динамического нагружения, связанных с ударным характером приложения нагрузки.

Проведен ряд вычислительных экспериментов на глубокую динамическую вытяжку при скоростях нагружения 5, 7.5, 10, 20 м/с. Проведен анализ механического поведения конструкционных алюминиевых сплавов на примере АМг6 при высокоскоростной деформации с учетом пластического течения материала и деформационного упрочнения. Определены величины максимальных усилий, возникающих в процессе деформирования образца.

На основе анализа достоверности полученных численно данных выявлено, что результаты, полученные с использованием модели Джонсона–Кука, близки к экспериментальным данным, но не полно отражают реальную картину деформации и разрушения образцов. В связи с этим существует необходимость более детальной разработки модели поведения материала, более точно согласовывающиейся с экспериментальными данными, а именно дополнительного введения в расчетную модель критерия разрушения и выбора модели появления и роста трещин.

При использовании модели Джонсона–Кука при разных скоростях нагружения материал упрочняется примерно в 3 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бабкин А.В., Колпаков В.И., Охитин В.Н., Селиванов В.В.* Численные методы в задачах взрыва и удара: Учебник для втузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 516 с.

2. *Altenhof W. et al.* Numerical simulation of AM50A magnesium alloy under large deformation // International Journal of Impact Engineering 30. 2004. P. 117–142.

3. *Johnson G.R., Cook W.J.* A constitutive model and data for metals subject to large strains, high strain rates and high temperatures // Proceedings of the 7th International Symposium on Ballistics. The Hague, Netherlands, 1983. P. 541.