

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ МАТЕРИАЛА РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТОВ ANSYS И LS-DYNA

Сапожников С.Б., д.т.н., профессор, ssb@susu.ac.ru

Форенталь М.В., студент 5 курса специальности "Динамика и прочность машин",
г. Челябинск, Южно-Уральский государственный университет

При решении задач о пробивании металлических пластин быстролетающими объектами возникает необходимость определения свойств материала этих пластин при высоких скоростях нагружения. Поскольку для решения задач такого профиля хорошо подходит пакет LS-DYNA, то и идентификацию логично проводить для моделей материалов заложенных в данный пакет. В качестве основного ограничения выступает следующее: эксперимент должен быть достаточно простым при сохранении информативности. В качестве такого эксперимента может быть удар закаленного шарика с известной начальной скоростью по пластине из исследуемого материала.

Для оценки влияния предела текучести на путь остановки шарика проведен ряд расчетов для разных пределов текучести и начальных скоростей шарика. Для создания сетки конечных элементов использовался пакет ANSYS. Для корректного расчета LS-DYNA требует сетки, состоящие из элементов близких по форме к параллелепипедам. Поскольку основные деформации идут в непосредственной близости к месту удара шарика, то в этом месте создано сгущение сетки для корректного решения задачи о контактном взаимодействии, сетка конечных элементов (шарик - 16380, пластина - 23100 элементов) приведена на рис. 1.

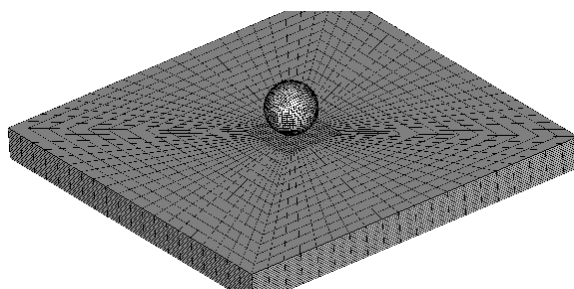


Рис. 1. Сетка конечных элементов.

Для возможности разбивки шарика на шестигранные конечные элементы, его объемная модель была создана следующим образом:

1. Созданы базовые точки (Keypoint) с координатами (0,0,0), (4,0,0), (-4,0,0), (0,4,0). Использована функция Modeling> Create>Keypoint>In Active CS.
2. По этим точкам функцией Modeling>Create>Lines>Arcs>By end KPs&rad созданы две дуги – четвертинки окружности, образующие полуокружность.
3. Концы этих дуг соединены прямыми отрезками с точкой, являющейся центром моделируемого шарика, использована функция Modeling>Create> Lines>Lines>In Active coord.

4. По двум получившимся секторам построены поверхности, функция Modeling> Create> Areas> Arbitrary> By Lines.

5. Объемная модель шарика получена из этих поверхностей вращением вокруг их общего диаметра. Функция Modeling> Operate> Extrude> Areas> About Axis.

После этого была создана сетка конечных элементов. Для получения сетки, содержащей элементы нужных размеров, достаточно на любой поверхности шарика задать размер элементов функцией Meshing> Size Cntrl> Manual Size> Areas> Picked Areas.

Для создания сгущения сетки под шариком, объемная модель пластины была создана следующим образом:

1. Созданы базовые точки (Keypoint) по углам квадрата, в котором необходимо получить сгущение, и внешним углам пластины. Использована функция Modeling> Create> Keypoint> In Active CS.

2. По этим точкам созданы прямые отрезки, соответствующие сторонам внутреннего квадрата и пластины, а также отрезки, соединяющие ближайшие вершины внутреннего квадрата и пластины. Использована функция Modeling> Create> Lines> Lines> In Active coord.

3. По получившимся внутреннему квадрату и четырем трапециям построены поверхности, функция Modeling> Create> Areas> Arbitrary> By Lines.

4. Объемная модель пластины получена из этих поверхностей выдавливанием на заданное расстояние. Функция Modeling> Operate> Extrude> Areas> By XYZ offset.

После завершения моделирования геометрии создана сетка конечных элементов. Для получения сетки, содержащей элементы нужных размеров, на верхней поверхности получившейся пластины был задан наибольший допустимый размер элемента. Функция Meshing> Size Cntrl> Manual Size> Areas> Picked Areas. Для обеспечения необходимого количества элементов по толщине пластины на отрезках, перпендикулярных плоскости пластины тоже задан размер элемента, функция Meshing> Size Cntrl> Manual Size> Lines> Picked Lines.

Полная модель задачи была создана для возможного учета в дальнейшем анизотропии, слоистости пластины и соударения не по нормали. Для моделирования материала пластины применялась упруго-пластическая модель материала типа MAT_PLASTIC_KINEMATIC с возможностью разрушения MAT_ADD_EROSION [1] при превышении первой главной деформацией заданного значения. Для материала шарика использовалась упругая модель материала.

При расчетах для различных скоростей соударения приняты следующие допущения: предел текучести, модули упругости и упрочнения, а также деформация, при которой начинается разрушение материала, не зависят от скорости деформирования.

В расчетах варьировали скорость соударения и предел текучести материала пластины. Зависимость пути торможения шарика от предела текучести для различных скоростей соударения приведена на рис. 2. Можно заметить, что путь, пройденный шариком до остановки при скоростях соударения меньших 300 м/с слабо зависит от предела текучести материала. Поэтому целесообразно использовать диапазон скоростей 300...800 м/с.

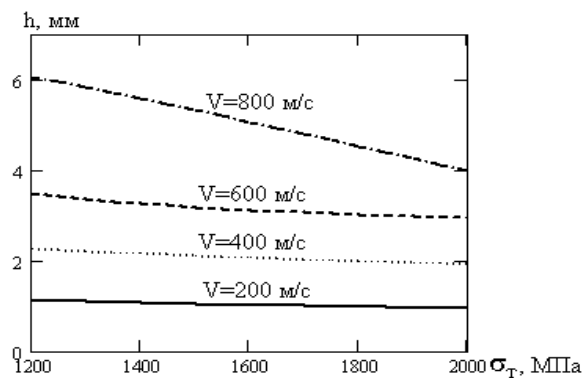


Рис. 2. Зависимость пути до остановки шарика от предела текучести.

Для идентификации параметров модели материала можно использовать следующие данные, полученные из эксперимента: глубина отпечатка, диаметр отпечатка, перемещение тыльной стороны пластины. Если на обратную сторону пластины предварительно нанести измерительную сетку, то можно получить деформации в различных точках вмятины. Эти же данные нужно получить расчетным путем для различных параметров расчетной модели с целью наилучшего соответствия с экспериментом. Пример результатов расчета перемещений и пластических деформаций для шарика диаметром 8 мм и скорости соударения 800 м/с приведен на рис. 3 и 4. Толщина пластины составляет 5 мм, поперечный размер: квадрат 60 мм, на краях пластина закреплена, модуль упругости $E=2 \cdot 10^5$ МПа, модуль упрочнения $E'=2 \cdot 10^3$ МПа, деформация разрушения 100%.

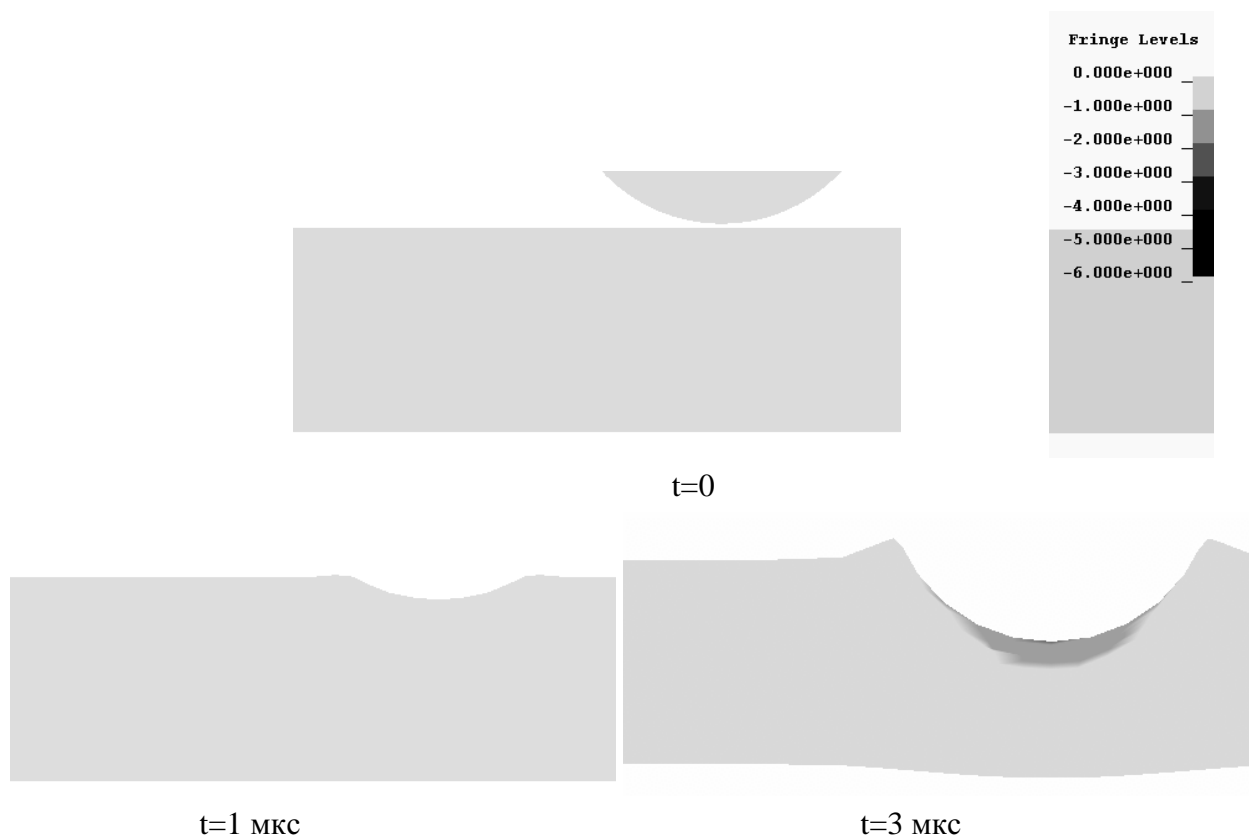


Рис. 3а. Распределение перемещений в направлении удара при $\sigma_T=1200$ МПа.

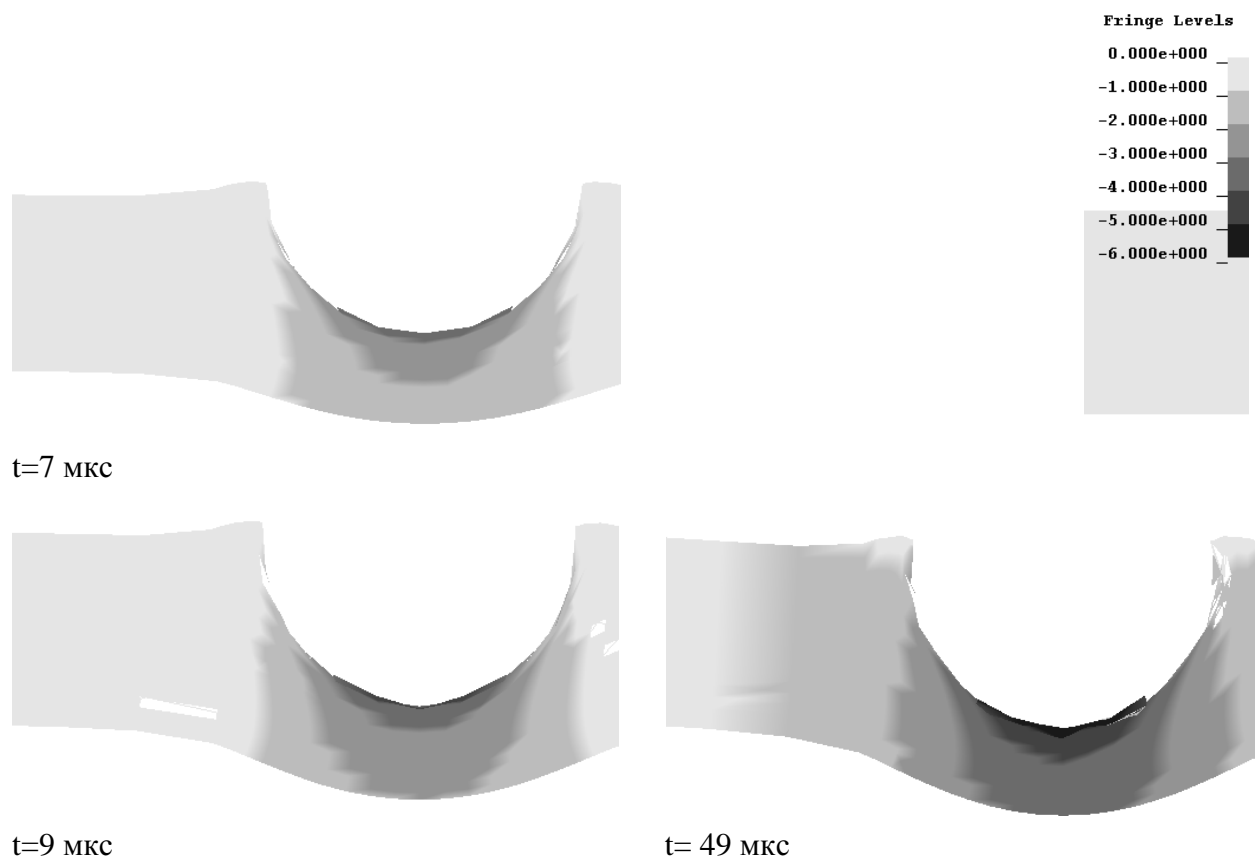


Рис. 3б. Распределение перемещений в направлении удара при $\sigma_T=1200\text{МПа}$.

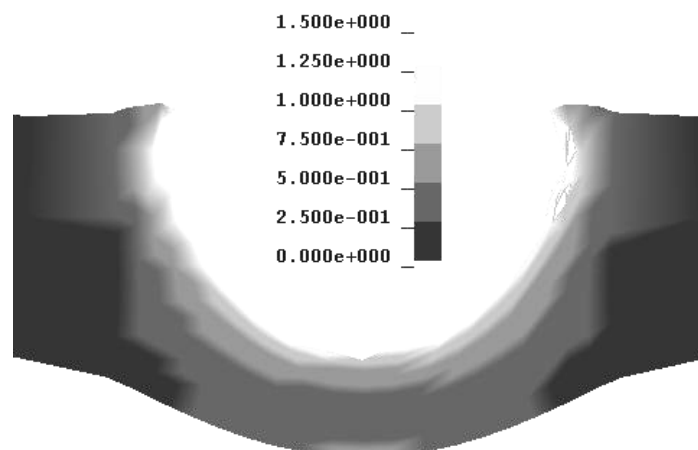


Рис.4. Распределение пластических деформаций в пластине ($t=49 \text{ мкс}$).

Получено, что пластическая деформация тыльной стороны составляет 30% для $\sigma_T=1200\text{МПа}$ и 20% для $\sigma_T=2000\text{МПа}$, что измеряется без существенных технических трудностей.

Для данной задачи время расчета одного варианта составило 11 минут на персональном компьютере с параметрами: P-IV-1500/1Гбайт.

Литература

1. John O. Hollquist et al. LS-DYNA KEYWORD USERS MANUAL, VOL.1-2, LSTC, 2001.