

Численные методы расчета конструкций

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСАДКИ АЛЮМИНИЕВОГО ОБРАЗЦА

Д.А. ГНЕВАШЕВ канд. техн. наук, доц.*

Е.А. МАТВЕЕВ канд. физ.-мат. наук, преподаватель.

Е.В. КРУТИНА канд. техн. наук, доц.

Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)
111250, Москва, Б. Семеновская, 38, т. 8(903)546-0442*; dengnevashev@mail.ru*

Представлены результаты физического и численного экспериментов процесса осадки цилиндрического алюминиевого образца, выполненного методом конечных элементов. Подобраны оптимальные параметры численного моделирования, позволяющие в дальнейшем разработать методику численного моделирования технологических процессов ОМД.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: метод конечных элементов, осадка, координатная сетка, неявные методы.

Обработка металлов давлением на сегодняшний день является одной из ключевых машиностроительных технологий, она применяется как при создании готовых изделий, так и в заготовительном производстве. Относительная дешевизна получаемых изделий обуславливается массовостью производства, основные производственные затраты относятся на проектирование технологических процессов и изготовление соответствующего инструмента.

При проектировании процессов обработки металлов давлением, требуется тщательная проработка формообразующих переходов, что сопровождается проведением экспериментальных работ, порой дорогих по стоимостным и временным затратам. С целью снижения затрат на проектирование и отладку технологических процессов в последнее время все чаще используются математическое моделирование процессов деформирования, основанное на численных подходах, применяемых в задачах теории упругости и пластичности [1, 2].

Одним из наиболее распространенных методов моделирования задач механики деформируемого твердого тела является метод конечных элементов [1]. Широкое его применение обусловлено, прежде всего, хорошей алгоритмируемостью. Однако, не смотря на развитие прикладных программных пакетов, реализующих метод конечных элементов и другие численные методы моделирования прикладных технологических задач, не существует единого подхода к моделированию. Нередко результаты численных экспериментов сопоставляются с модельными задачами, имеющими аналитическое решение для простейших моделей, однако объекты реальных производственных (технологических) задач являются более сложными.

Целью настоящей работы является отработка методики моделирования технологических задач ОМД на примере задачи осадки алюминиевой заготовки из сплава АК-4.

Объектом исследования является цилиндрических образец диаметром 40 мм и высотой 60 мм с нанесенной разметочной сеткой размером 6×6 мм (рис. 1), позволяющей на промежуточных этапах процесса осадки отслеживать изменение ее формы и размеров и проводить верификацию данных с результатами численного эксперимента по аналогии с работой [3].

Для оценки распределения поверхностной деформации в радиальном направлении образца рассматривалось изменение длины ячейки сетки на каждом

шаге деформации, отнесенное к первоначальной величине, соответствующей предыдущему шагу нагружения. По аналогии рассматривалась поверхностная деформация образца в осевом направлении, где для оценки учитывалось изменение высоты ячейки нанесенной сетки на каждом шаге.

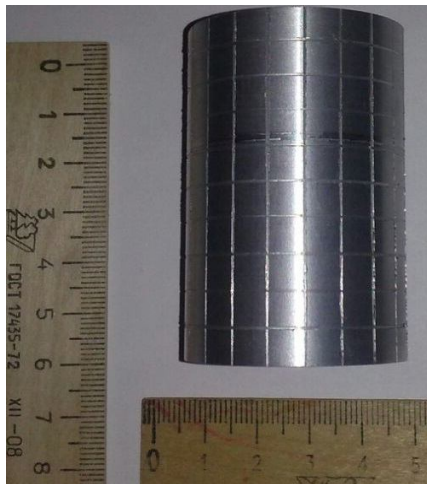


Рис. 1. Алюминиевый образец с нанесенной сеткой 6×6 мм

Решение задачи строилось методом конечных элементов в перемещениях с использованием универсального программного пакета LS-DYNA [4].

Для аппроксимации исследуемого образца применялись объемные конечные восьми узловые гексагональные элементы, имеющие по три степени свободы в каждом узле. Для решения использовалась неявная схема решения. Физическая и конечно-элементные модели эксперимента показаны на рис. 2.

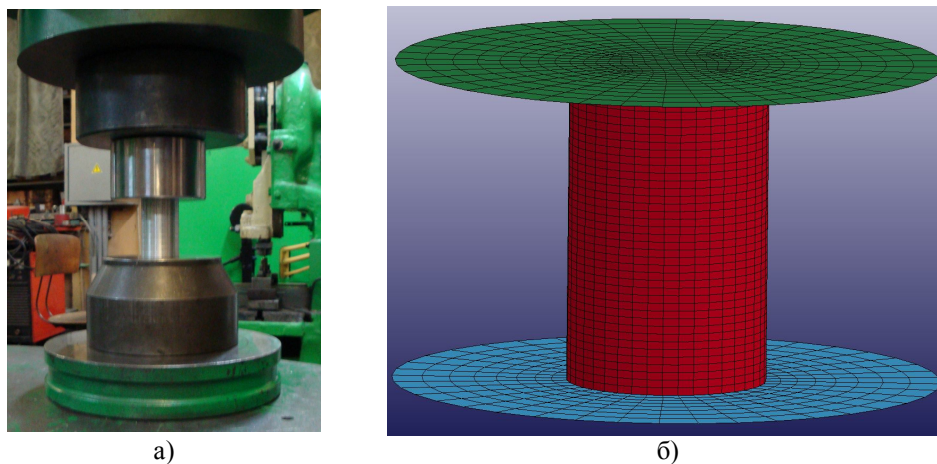


Рис. 2. Физическая (а) и конечно-элементная (б) модель алюминиевого образца

Нижняя плита пресса и подвижный верхний пунсон моделировались как абсолютно жесткие тела. Для материала образца применялась билинейная модель материала, принятая по свойствам материала образца [5].

Зависимость хода ползуна от времени, выдерживаемая при проведении физического эксперимента представлена на рис. 3. При моделировании шаг по нагрузке (перемещению) был задан в соответствии с данными физического эксперимента.

Полученные при проведении эксперимента изменения формы образца в начале проведения процесса формообразования и в середине, соответствующие

20-й и 120-й секундам соответственно, представлены на рис. 4. Здесь же представлены результаты расчетов в виде распределения перемещений и деформаций (по Мизесу).

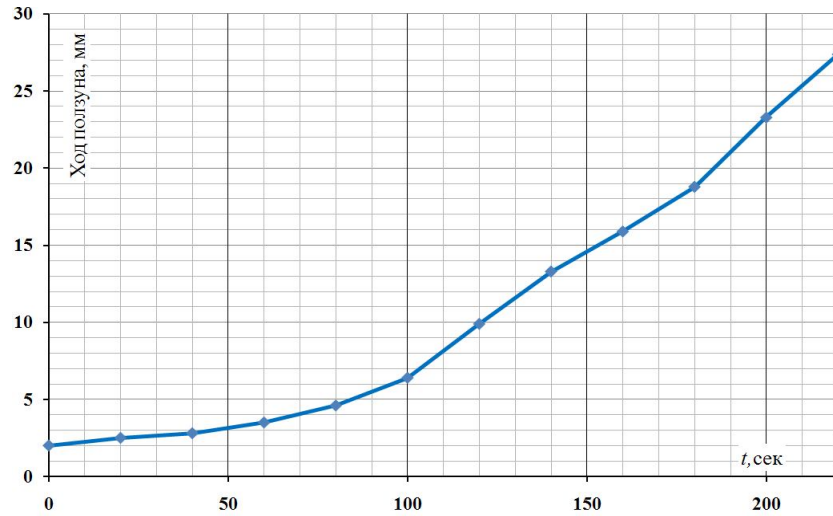


Рис. 3. График зависимости перемещения ползуна прессы от времени

Таким образом, верификация численного эксперимента по деформациям образца с натурным испытанием прошла успешно, при этом отличия не превысили 2...4%. Такое расхождение может отличаться несовершенством образца, идеализированными свойствами материала и другими объективными факторами, которые носят случайный характер. Поскольку рассматриваемая модель является идеализированной, в ней не учитываются факторы, влияющие на неравномерности деформаций [6, 7].

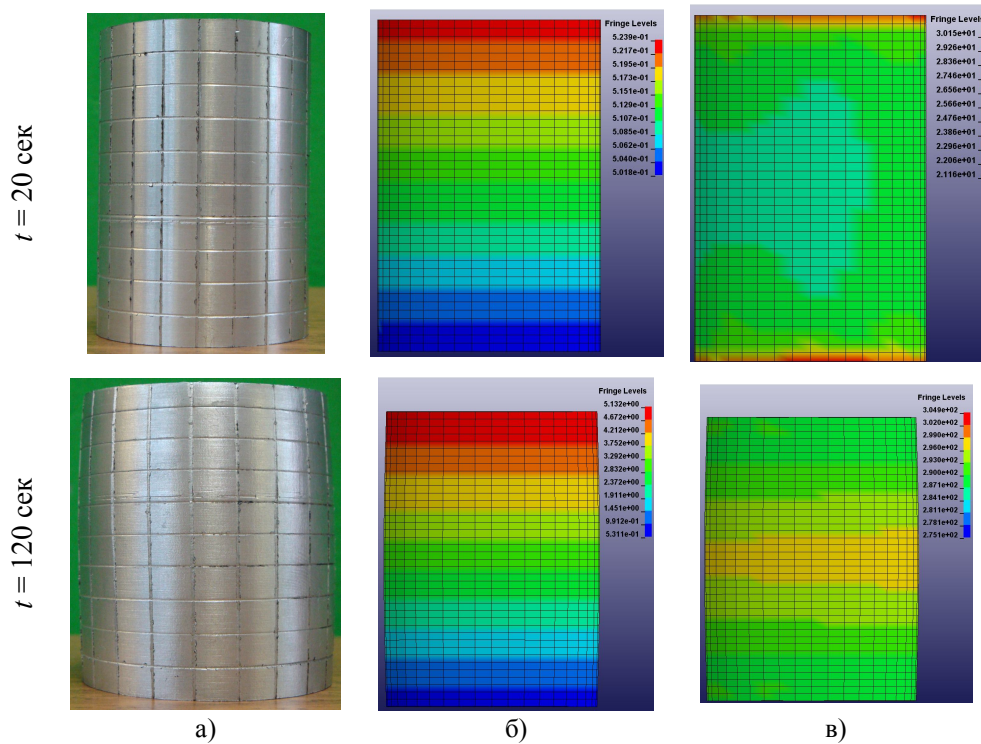


Рис. 4. Изменение формы образца: а – натурное испытание; результаты расчета перемещений (б) и деформаций (в)

Результаты моделирования, соответствующие окончанию процесса осадки, в виде распределения эквивалентных напряжений (по Мизесу) и осевых деформаций, показаны на рис. 5-7.

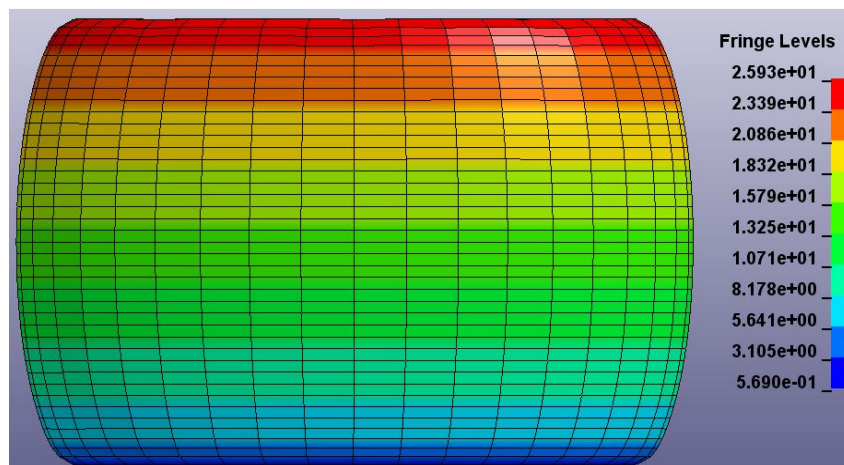


Рис. 5. Результаты моделирования в виде распределения суммарных перемещений

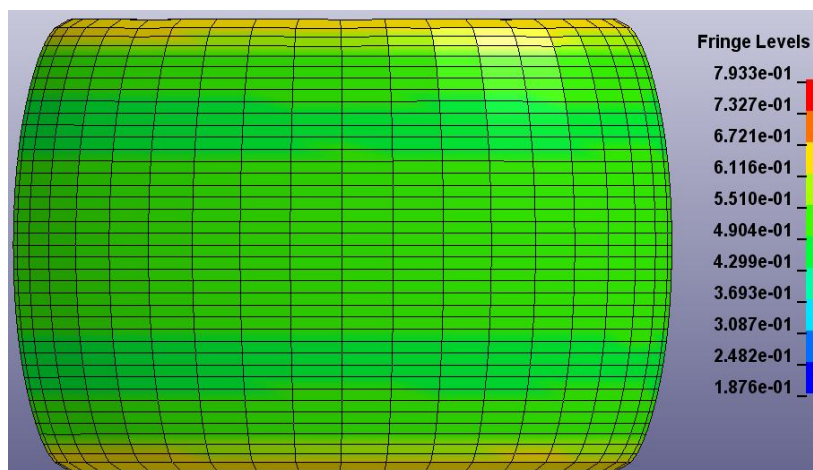


Рис. 6. Результаты моделирования в виде распределения пластических деформаций

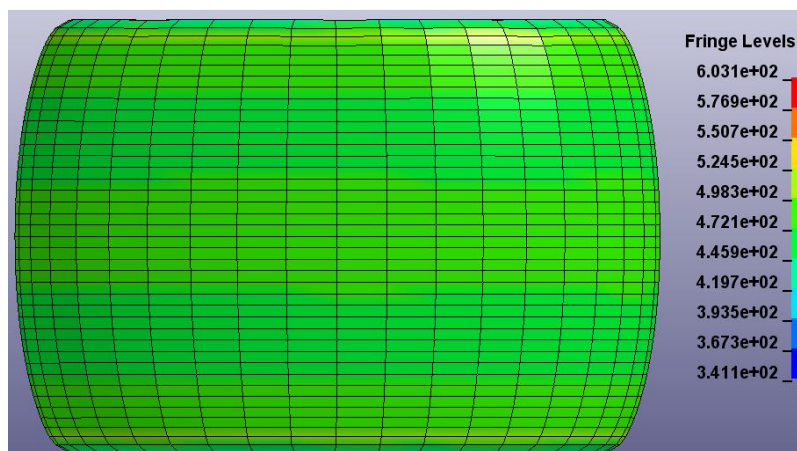


Рис. 7. Результаты моделирования в виде распределения эквивалентных напряжений (по Мизесу)

Вывод:

Произведена верификация расчетной модели процесса осадки алюминиевого образца.

Численно были подобраны оптимальный размер конечно-элементной сетки (40 элементов в высоту и по окружности образца), и шаг по нагрузке (10 шагов), позволяющий провести исследование процесса формообразования цилиндрических образцов без ощутимого расхождения с экспериментом с одной стороны, и временных затрат на моделирования с другой.

Эта работа является первым шагом в создании методики, позволяющей инженерам, проектирующим технологии обработки металлов давлением, без специализированной подготовки, используя справочные данные (физические, механические свойства, кривую текучести и т.д.) различных алюминиевых сплавов, создавать новые технологические процессы с минимальными производственными затратами.

Л и т е р а т у р а

1. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике. Перевод с английского. – М.: Мир, 1975. – 543 с.
2. *Малинин И.И.* Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
3. *Басюк С.Т., Юшко В.Г., Зверев К.П.* Производство полуфабрикатов с использованием осадки в выпукло-вогнутых плитах. – М.: ВИЛС, 1985. – С. 41-49.
4. *LS-Dyna.* Theory Manual. January 01, 2014 (reversion:4336). LS-Dyna Dev. Livermore Software Technology Corporation (LSTC).
5. *Зубченко А.С.* Марочник сталей и сплавов. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
6. *Брюханов А.Н., Черняев О.П., Копыцкий Б.Д.* Технология легких сплавов. – 1964. – № 4. – С.71-75.
7. *Победря Б.Е.* Численные методы в теории упругости и пластичности. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 366 с.

R e f e r e n c e s

1. *Zenkevich, O.* (1975). *Metod Konechnykh Elementov v Tekhnike* [The finite element method in the art], Perevod s angliyskogo, Moscow: Mir, 543 p.
2. *Malinin, I.I.* (1975). *Prikladnaya Teoriya Plastichnosti i Polzuchesti* [Applied theory of plasticity and creep], Moscow: Mashinostroenie, 400 p.
3. *Basyuk, S.T., Yushko, V.G., Zverev, K.P.* (1985). *Proizvodstvo Polufabrikatov s Ispol'zovaniem Osadki v Vypuklo-Vognutykh Plitakh*, Moscow: VILS, pp. 41-49.
4. *LS-Dyna.* Theory Manual. January 01, 2014 (reversion:4336). LS-Dyna Dev. Livermore Software Technology Corporation (LSTC).
5. *Zubchenko, A.S.* (2003). *Marochnik Staley i Splavov* [Database of steels and alloys], Moscow: Mashinostroenie, 784 p.
6. *Bryukhanov, A.N., Chernyaev, O.P., Kopytsky, B.D.* (1964). *Tekhnologiya Legkikh Splavov* [The technology of light alloys], no 4, pp.71-75.
7. *Pobedrya, B.E.* (1995). *Chislennyye Metody v Teorii Uprugosti i Plastichnosti* [Numerical methods in the theory of elasticity and plasticity], Moscow: Izd-vo MGU, 366 p.

MATHEMATICAL MODELING OF THE ALUMINUM SAMPLE PRECIPITATION

D.A. Gnevashev, E.A. Matveev, E.V. Krutina

Moscow State Machine-Building University (MAMI), Moscow

The results of physical and numerical experiments of the process precipitate a cylindrical aluminum sample performed by the finite element method. Optimal numerical modeling of options that allow to further develop a method of numerical simulation of metal forming processes.

KEY WORDS: finite element method, sludge, grid, implicit methods.