

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧИ В РАМКАХ КВАЗИ-СТАТИЧЕСКОГО УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ В ПАКЕТЕ ANSYS/LS-DYNA

Тыняный А. Ф., аспирант, tynyany@yandex.ru

г. Челябинск, Южно-Уральский государственный университет

Введение

При изготовлении деталей шарового зажима «Мастер» (разработчик — А. И. Слабинский, г. Челябинск), (рис. 1, 2) предназначенного для фиксации трех одинаковых стержней, расположенных взаимно перпендикулярно, использовалась технология точения и фрезерования крупноразмерной заготовки. С целью снижения материалоемкости и удешевления процесса изготовления деталей было предложено вместо механической обработки использовать штамповку листовой заготовки. При проведении первых экспериментов на заготовках из Ст5 было отмечено образование трещин на участках, охватывающих стержни.



Рис. 1. Шаровой зажим «Мастер»



Рис. 2. Шаровой зажим «Мастер» в разобранном состоянии

Поэтому была поставлена задача провести расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) заготовки в процессе деформирования, определить величину деформаций в опасных местах, предложить подходящий материал, его термообработку, максимально допустимую толщину заготовки для заданного материала.

Метод исследования

Задача исследования НДС заготовки в процессе штамповки является контактной, упруго-пластической, нелинейной, требующей учета больших перемещений и деформаций. В настоящее время наиболее перспективным методом расчета таких задач является метод конечных элементов (МКЭ). Лидером среди пакетов, позволяющих решать существенно

нелинейные задачи МКЭ с реалистическими математическими моделями материалов является LS-DYNA. Более того, возможности этого пакета позволяют решать задачи как в квазистатической, так и в динамической постановке. LS-DYNA является, по существу, лишь решателем, данные для которого готовятся в других программных пакетах. То же самое можно сказать и об анализе результатов расчета (постпроцессинге). По-видимому, наиболее удачным в настоящий момент препроцессором является ANSYS/LS-DYNA, который по геометрической модели делает сетку конечных элементов необходимого для упруго-пластических задач качества. Наиболее удобный и качественный постпроцессинг на сегодняшний день обеспечивает пакет LS-PREPOST.

Построение конечно-элементной модели

Нелинейные задачи решают явным (explicit) или неявным (implicit) методом. Неявный метод (реализован в ANSYS) безусловно устойчив (не зависит от шага интегрирования), но решить с его помощью существенно нелинейные задачи обычно не удается из-за проблем со сходимостью решения и большим объемом вычислений. Поэтому такие задачи решают явным методом (реализован в LS-DYNA). Существенным недостатком явного метода является его условная устойчивость, то есть решение задачи не будет зависеть от шага по времени, только если он меньше определенного значения. Это значение определяется из критерия Куранта [1]

$$\Delta t_{max} = a \sqrt{\frac{\rho}{E}},$$

здесь a — характерный размер конечного элемента, ρ — плотность материала, E — модуль упругости материала. Поэтому пакет LS-DYNA сам определяет размер шага по времени, так, чтобы критерий Куранта не нарушался. Однако размер шага по времени в этом случае оказывается очень мал, и рассчитать таким способом квазистатические задачи невозможно. Поэтому используют два специальных приема [3] — увеличение скорости движения инструмента и/или увеличение плотности заготовки, пренебрегая при этом искусственно введенными динамическими эффектами. Критерием того, что задача не динамическая, а статическая, является отношение кинетической энергии заготовки к ее внутренней энергии. Если это отношение не превосходит пяти процентов, то задача может считаться квазистатической [3].

Из практики решения подобных задач [3] известно, что ≈ 1000 шагов интегрирования на один миллиметр продвижения инструмента достаточно для получения адекватного решения. Потому рекомендуется увеличить скорость движения инструмента до 2 мм/мс, и выбрать такой шаг по времени, чтобы обеспечить 1000 шагов интегрирования на один миллиметр продвижения инструмента.

Для анализа кинетики упруго-пластического деформирования заготовки была построена геометрическая модель заготовки и поверхностей пуансона и матрицы в САД-пакете CATIA. Далее геометрическая модель была импортирована в САЕ ANSYS/LS-DYNA для построения конечно-элементной (КЭ) модели и задания необходимых условий нагру-

жения и контрольных карт. Поскольку препроцессор ANSYS/LS-DYNA на сегодняшний день не позволяет задавать все опции, имеющиеся в пакете LS-DYNA, то обычно требуется дополнительная ручная правка генерированного keyword-файла.

Поскольку деформацией пуансона и матрицы можно пренебречь (обработаны до высокой твердости) [3, 6], то они считались абсолютно твердыми (*MAT_RIGID), в связи с этим КЭ сетка была создана не во всем объеме инструмента, а только на его поверхностях, непосредственно контактирующих с заготовкой. КЭ модель показана на рис. 3.

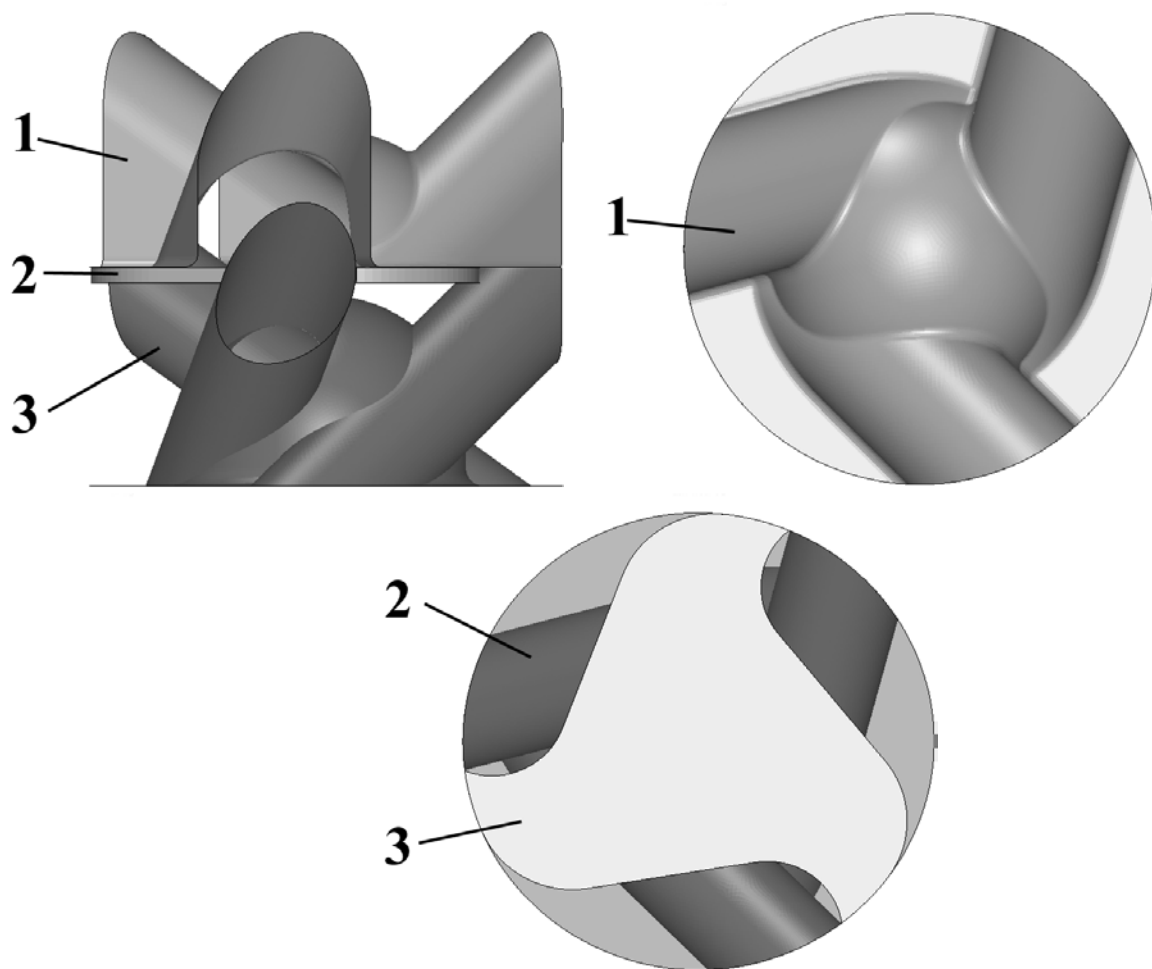


Рис. 3. Конечно-элементная модель штампа:

- 1 — поверхность матрицы;
- 2 — заготовка; 3 — поверхность пуансона

Пакет LS-DYNA позволяет задать абсолютно жесткие тела двумя способами [6] — либо генерировать на поверхности тела сетку вручную, либо задать ссылку на файл геометрии в формате VDA или IGES. К основным преимуществам последнего способа следует отнести отсутствие так называемого «искусственного трения» и осцилляций в контакте из-за слишком грубой сетки соприкасающихся поверхностей. Недостатком такого способа является его «капризность»: проблемы с импортом сложной геометрии, возможность задать

только один тип контакта — *CONTACT_ENTITY, невозможность использовать при этом способе адаптивное измельчение сетки на заготовке. Поэтому был применен первый способ.

Для модели материала заготовки (Ст3) был выбран упругопластический материал с кинематическим упрочнением и билинейной диаграммой (*MAT_PLASTIC_KINEMATIC). Его параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Свойства материала заготовки

ρ , кг/м ³	7800
E , МПа	$2 \cdot 10^5$
μ	0,3
σ_T , МПа	250
E' , МПа	670

Для задания контакта между формирующим инструментом и заготовкой был использован специально предназначенный для подобных расчетов тип контакта — *CONTACT_FORMING_ONE_WAY_SURFACE_TO_SURFACE [5]. Этот тип контакта хорошо подходит для расчета контактных задач, в которых одно из соприкасающихся тел является абсолютно твердым. Для снижения осцилляций в контакте, обусловленных дискретностью соприкасающихся поверхностей, было введено демпфирование равное 20% от критического (определяется программой автоматически).

Нагружение было задано в виде определенной скорости перемещения матрицы с помощью карт *DEFINE_CURVE_SMOOTH и *BOUNDARY_PRESCRIBED_MOTION_RIGID.

Расчет упругого пружинения заготовки после штамповки произведен в пакете LS-DYNA неявным методом [4].

Расчет одного варианта занял 2,5 часа на компьютере AthlonXP 2000/512 Мб (50 тыс. solid-элементов в модели заготовки, 50 тыс. — поверхности инструмента).

Обработка и анализ результатов

На рис. 4, 5 приведены картины распределения напряжений и деформаций на последнем этапе активного нагружения. На рис. 7 — картина остаточных напряжений после разгрузки.

Получено, что в опасных зонах детали имеет место превышение напряжениями предела прочности, а деформации близки к разрушающим. Локализация опасных зон в расчетной модели идентична эксперименту (рис. 4-6). Чтобы избежать появления штамповочных трещин было предложено провести отпуск заготовок. Также, рекомендован низкий отпуск отштампованной детали для снятия высоких остаточных напряжений без коробления.

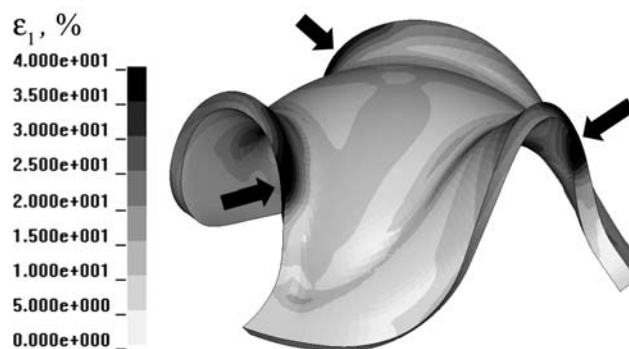


Рис. 4. Картина распределения первой главной деформации на последнем этапе активного нагружения

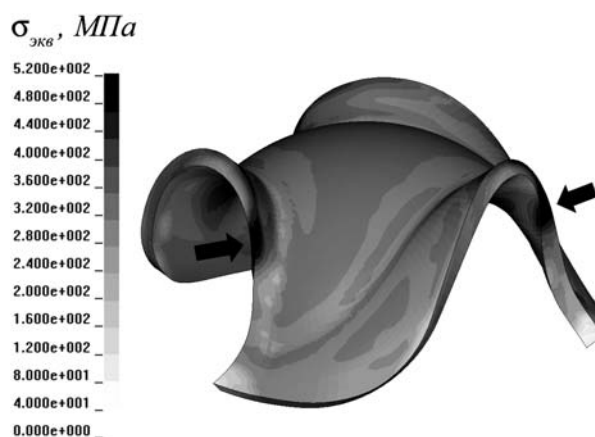


Рис. 5. Картина распределения эквивалентных (по Мизесу) напряжений на последнем этапе активного нагружения

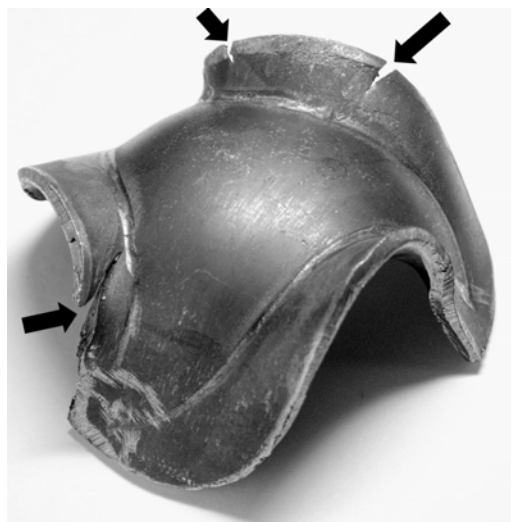


Рис. 6. Штамповочные трещины в отштампованной детали

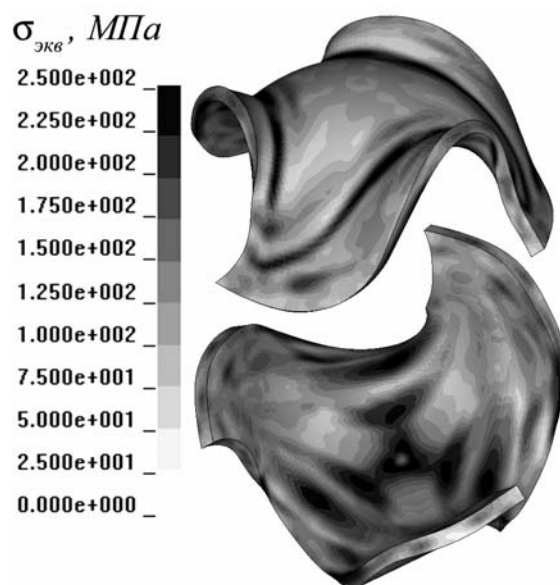


Рис. 7. Картина распределения эквивалентных (по Мизесу) напряжений после разгрузки

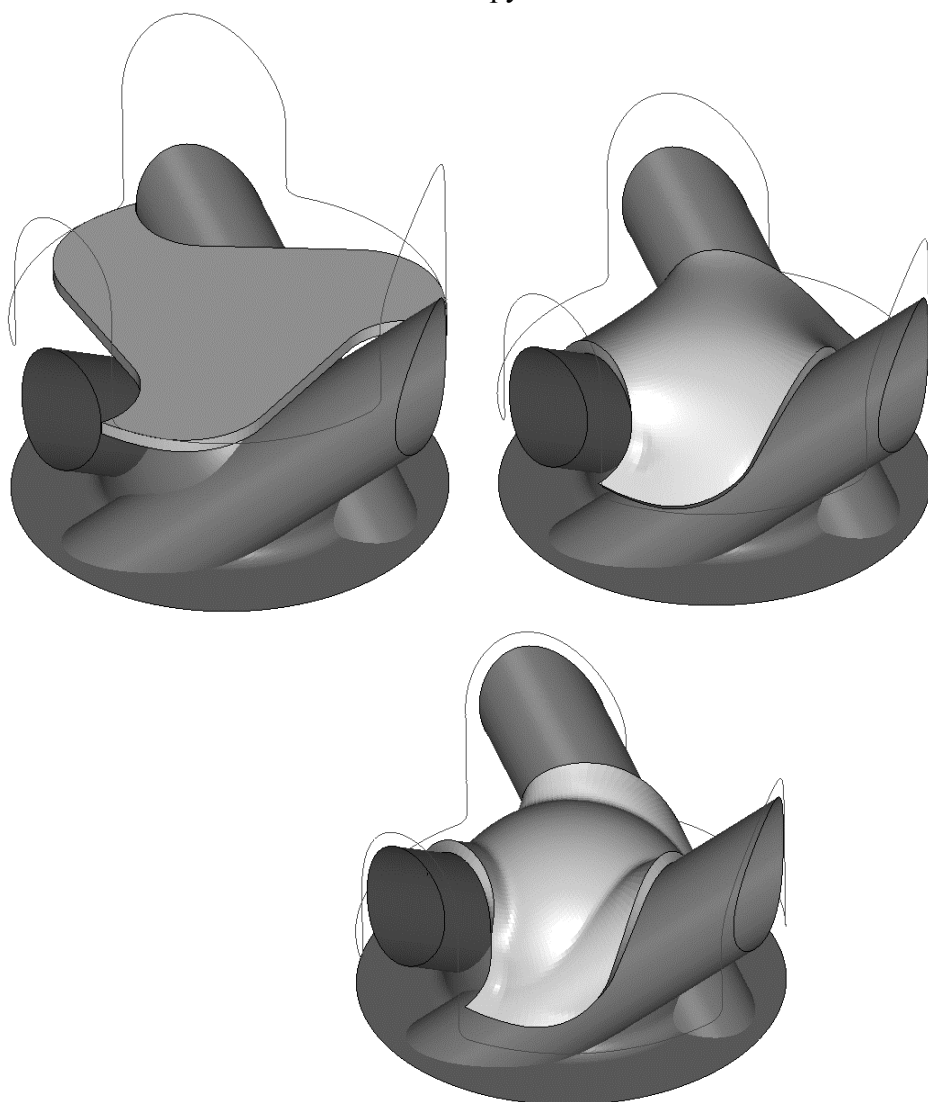


Рис. 8. Процесс упруго-пластического деформирования заготовки

Расчеты с различной толщины штампуемой заготовки показали, что для соединения стержней диаметром до 50 мм максимальная толщина листа по критерию отсутствия трещин не должна превышать 8 мм.

Литература

1. John O. Hallquist. *LS-DYNA theoretical manual*. Livermore Software Technology Corporation. — 1998.
2. *LS-DYNA 960 Keyword User's Manual*. Livermore Software Technology Corporation. — 2001.
3. Bradley N. Maker, Xinhai Zhu. *Input Parameters for Metal Forming Simulation Using LS-DYNA*. 6th International LS-DYNA Users Conference. — 2000.
4. Bradley N. Maker, Xinhai Zhu. *Input Parameters for Springback Simulation Using LS-DYNA*. 3th European LS-DYNA Users Conference. — 2000.
5. Suri Bala. *Contact Modeling in LS-DYNA*. // FEA Information Newsletters. vol. 8-11, 2001.
6. Suri Bala. *Modeling Rigid Bodies in LS-DYNA*. // FEA Information Newsletters — vol. 1, 2002.