

Eastern -
European
Journal of
Enterprise
Technologies

jet.com.ua

ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКИЙ ЖУРНАЛ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

1/1(19)
2006

информационные технологии

інформаційні технології

information
technologies

новая экономика

нова економіка

new economy

промышленные технологии

промислові технології

industrial
applications

В НОМЕРЕ

НОВЫЕ РЕШЕНИЯ
В ТЕХНОЛОГИЯХ
СВАРКИ

ЛЕЗВИЙНО-
УПРОЧНЯЮЩАЯ
МЕХАНИЧЕСКАЯ
ОБРАБОТКА
ДЕТАЛЕЙ

ЭЛЕКТРО-
ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ
ДЛЯ ПРИВОДОВ
МАШИН
сравнительный анализ

ТЕМА НОМЕРА	
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.....	4
КОРПОРАТИВНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	
ЛИДЕРЫ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	29
КАФЕДРЕ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА НМЭТАУ 75 ЛЕТ.....	41
ПРАКТИКА ИНЖЕНЕРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ	
Дёмин Д.А.	
ТОЧНОЕ ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА РАБОТАЮЩЕМ ОБОРУДОВАНИИ. МЕТОДЫ И ПРИЕМЫ	43
Куксинова Е.А.	
ПРИМЕНЕНИЕ D-ОПТИМАЛЬНЫХ ПЛАНОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ ХИМСОСТАВА ЛАТУНИ НА ЕЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА	48
ОБМЕН ОПЫТОМ: ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ	
Губачева Л.А., Сладковский А.В.	
АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ДВУХУГЛОВОЙ ГИБКИ ТОЛСТОЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ	50
ОБМЕН ОПЫТОМ: ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	
Петренко А.Н., Кальянов В.Н.	
НАКЛЕП И ИЗНАШИВАНИЕ Fe-C-Cr-Mn-Ti-Si И Fe-C-Cr-B-Ti СПЛАВОВ.....	53
ОБМЕН ОПЫТОМ: ПРИВОДЫ МАШИН	
Ніконов О.Я., Скворчевський О.Є.	
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СХЕМНИХ РІШЕНЬ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ СИСТЕМ ПРИВОДІВ КОЛІСНИХ ТА ГУСЕНИЧНИХ МАШИН СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	57
ОБМЕН ОПЫТОМ: СВАРКА	
Дмитрик В.В., Ляпунов А.М.	
К УМЕНЬШЕНИЮ ИСХОДНОЙ СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ Cr-Mo-V ТЕПЛОУСТОЙЧИВЫХ ПЕРЛИТНЫХ СТАЛЕЙ.....	65
Нестерцова С.А.	
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ИСТОЧНИКА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ КОРПУСОВ МИКРОСБОРОК ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ.....	68
Семенов В.М., Подлесный С.В.	
АВТОВАКУУМНАЯ СВАРКА ДАВЛЕНИЕМ КРУПНЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ СТАЛИ 34ХМ1А.....	72
ОБМЕН ОПЫТОМ: МЕХАНООБРАБОТКА	
Путятина Л.И.	
СПОСОБ ЛЕЗВИЙНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА.....	76

ОБМЕН ОПЫТОМ: ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621. 735.043.016.3

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ДВУХУГЛОВОЙ ГИБКИ ТОЛСТОЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ

Л.А. Губачева, ВГУ им. В.Даля (Луганск, Украина)

А.В. Сладковский, Силезский университет технологий (Катовице, Польша)

Рассмотрено моделирование технологического процесса и расчет силового режима двухугольной П-образной гибки толстолистовой заготовки

Чтобы расширить использование ресурсосберегающих процессов штамповки, необходимо обеспечить точность формообразования, определить силовой режим, рассчитать напряжения при выполнении операции, а также оценить уровень остаточных напряжений в детали после ее изготовления. Это возможно сделать путем моделирования процесса на ЭВМ.

Для получения П-образных (или им подобных) деталей за один ход пресса листовую заготовку необходимо изгибать одновременно в двух разных поперечных сечениях. Особенности двухугольной гибки заключаются в том, что между боковыми вертикальными гранями пуансона и матрицы предусматривают зазор (рис.1), который не изменяется в процессе гибки, а также в том, что участок заготовки, находящийся под пуансоном, отходит от нее и выпучивается. Внешние силы приложены к заготовке по двум узким площадкам, примыкающим к радиусам матрицы и пуансона, что приводит к уменьшению плеча гибки по сравнению с одноугольной гибкой [1]. После выполнения операции и извлечения детали из матрицы (либо путем выталкивания вверх, либо путем проталкивания напровал) происходит распруживание детали. Учесть эти особенности можно путем моделирования процесса на ЭВМ.

Для моделирования гибки толстолистовой заготовки предложена схема нагружения, показанная на рис. 1.

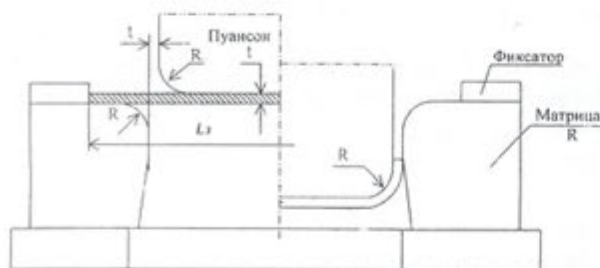


Рисунок 1. Схема двухугольной гибки

Заготовка представляет собою пластину постоянной толщины 10 мм, длина которой (перпендикулярно к плоскости чертежа на рис. 1) была принята равной 220 мм. Ширину пластины приняли равной 250 мм. Материал заготовки сталь 45, для которой диаграмма истинных напряжений $\sigma - \epsilon$ аппроксимирована зависимостью [2]

$$\sigma(\epsilon) = 350 + 790 \cdot \epsilon^{0.48}, \quad (1)$$

где напряжения измеряются в МПа.

Такая постановка задачи предполагает три существенные нелинейности [3, 4]. Во-первых, изначально предполагается, что заготовка будет иметь большие пластические деформации. Во-вторых, рассматриваемые точки заготовки будут иметь большие перемещения, т.е. линеаризованные соотношения Коши будут неприемлемы. И, наконец, рассматриваемая задача относится к классу контактных, имеющих несколько контактных зон с заранее неопределенной границей. Совокупность указанных факторов определяет выбор инструментария для решения такой задачи. Очевидно, что даже при использовании численных методов, таких как метод конечных элементов (МКЭ), не каждый из существующих в настоящее время пакетов прикладных программ может осилить решение задачи в такой постановке. Этим определяется выбор пакета MSC.MARC 2003 в качестве основного инструмента решения задачи. Указанный пакет предназначен для решения задач моделирования МКЭ физических процессов с существенной нелинейностью.

Процесс решения задачи включает несколько этапов.

Первый этап – задание модели деформируемого объекта:

- задания геометрии деформируемого твердого тела,
- задания его механических характеристик,
- генерации конечно-элементной сетки.

Очевидно, что рассматриваемый объект имеет достаточно простую геометрию, задание которой не составляет никаких проблем. В силу достаточно большой длины объекта и постоянных условий его нагружения по длине можно отнести эту задачу к классу плоской деформации. Тогда при задании геометрии достаточно ввести геометрию поперечного сечения (прямоугольник), а длину объекта указать отдельным параметром задачи плоского деформирования.

Задание механических характеристик более сложно. Помимо задания чисто упругих характеристик, которые были выбраны общепринятыми (модуль упругости $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$) задаются пластические характеристики. Последние были выбраны следующими: предел текучести $\sigma_y = 3,5 \cdot 10^8$ Па, зависимость $\sigma - \epsilon$ на этапе пластического деформирования приняли в соответствии с форму-

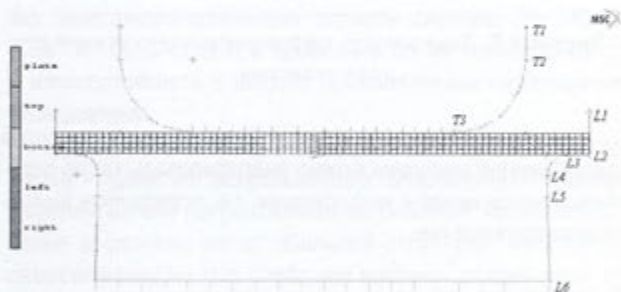
лой (1). Последнее возможно при предварительном задании дополнительной функции.

Создание конечно-элементной сетки для столь простого объекта не представляет никаких трудностей, но густота сетки является достаточно проблематичным вопросом. Это связано с тем, что очевидное стремление сгустить сетку (что должно было бы повысить точность решения задачи) приводит к значительному увеличению времени вычислений. Было исследовано несколько КЭ моделей рассматриваемого объекта. В результате была выбрана КЭ сетка, содержащая 80 элементов по ширине пластины и 4 элемента по ее толщине. Такой выбор сетки обеспечил отсутствие вытянутости конечных элементов, что негативно влияет на точность решения, а с другой стороны, позволил находить решение в течение сравнительно небольшого времени расчетов. В частности, на компьютере с процессором Pentium IV с тактовой частотой 2 ГГц и объемом оперативной памяти 1 Мб полное процессорное время решения задачи составляет 16128 сек, т.е. около пяти часов.

Вторым этапом моделирования является задание граничных и начальных условий.

Рис. 2 более позволяет более подробно проанализировать заданную геометрию.

Рисунок 2. Задание геометрии штампов при двухугловой гибке



Рассматриваемый деформируемый объект имеет название Plate. На рисунке показана его КЭ сетка. Верхний штамп задается как жесткое тело с названием Top. Для его задания использованы несколько отрезков и дуг. Характерные точки T1, T2, T3 имеют координаты (0.096;0.06), (0.096;0.044), (0.062;0.01), соответственно. Все координаты здесь и далее задаются в метрах, а радиусы дуг соответствуют приведенным на рис. 1. Аналогично задаются правая и левая части матрицы штампа, которым присвоены очевидные названия Right и Left. Они симметричны, поэтому информации о координатах характерных точек L1 – L6 правого штампа достаточно для построения всей геометрии. А указанные точки имеют координаты (0.126;0.02), (0.126;0), (0.116;0), (0.106;-0.01), (0.106;-0.02), (0.107;-0.06), соответственно.

Для получения требуемой формы заготовки после деформации необходимо двухугловую гибку вести в штампе с прижимом средней части заготовки (Bottom).

Для решения задачи в программе MSC.MARC существенно также направление кривых, образующих жесткие тела. Это позволяет программе судить о том, где находится внешняя область, а где находится внутренняя часть тела, ограниченная заданной границей. Дополнительная штриховка около грани-

ных кривых (рис. 2) позволяет визуализировать этот аспект. В процессе подготовки информации о геометрии штампов было необходимо откорректировать направление обхода для отдельных кривых.

Очень существенным моментом моделирования является **задание начальных условий**, в данном случае функций, описывающих движение штампов в условном времени. В частности, было принято, что общее время деформирования составляет 2,5 сек. При этом рассматривается 50 шагов, т.е. длительность каждого шага деформирования составляет 0,05 сек. Первый этап деформирования длится 1 сек. За это время происходит перемещение верхнего штампа. Исходя из заданной геометрии, ход верхнего штампа может составлять 0,06 м. Тогда движение верхнего штампа может быть описано зависимостью $0.06 \times F_{top}(t)$, где $F_{top}(t)$ - функция, описывающая движение верхнего штампа. Она представлена на рис. 3.

Аналогично поступаем с боковыми частями штампа. Для их описания используем функцию $-0.01 \times F_{l-r}(t)$ для левой части штампа и функцией $0.01 \times F_{l-r}(t)$ для правой. График функции $F_{l-r}(t)$ показан на рис. 4.

Рисунок 4. Функция, при помощи которой описывается движение правого и левого штампов

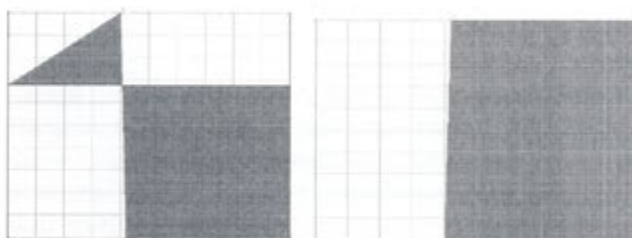


Рисунок 3. Функция, описывающая движение верхнего штампа

Отметим еще несколько аспектов, связанных с заданием начальных и граничных условий. Для всех рассматриваемых тел, как деформируемого, так и жестких, был принят коэффициент трения Кулона равный 0,3. Кроме того, в силу симметричности задачи относительно вертикальной оси для узлов, имеющих координату $x=0$ принято граничное условие отсутствия горизонтальных перемещений.

Рассмотрим теперь результаты моделирования деформирования заготовки при двухугловой гибке. Рис. 5 показывает процесс изменения формы заготовки, цветовое заполнение соответствует распределению продольных деформаций.

Для расчета деформирующих усилий, приложенных к верхнему штампу на каждом шаге деформирования, необходимо было написать дополнительные программные модули. Важным преимуществом пакета MSC.MARC является возможность написания дополнительных модулей, которые могут быть включены в пакет, как его часть. Такой способ позволяет создавать конечные элементы с нестандартными свойствами, задавать нестандартные граничные и начальные условия и т.д. Стандартная поставка пакета MSC.MARC, позволяет определять контактные силы в узлах, которые в результате расчета попали в контактные зоны. Но в силу того, что таких узлов может быть много, достаточно большое может быть и количество этапов нагружения.

Решение этого вопроса было найдено следующим образом. На алгоритмическом языке Compaq Visual Fortran 6.6C, который воспринимается MSC.MARC был написан модуль UPSTNO.F, в задачу которого входили следующие действия. Во время работы постпроцессора MSC.MARC происходит опрос данных (результатов расчета на каждом шаге вычислений) для каждого узла. Разработанный модуль при этом контролирует признак, является ли данный узел контактным, считывает нормальные и тангенциальные силы для него и определяет вертикальную и горизонтальную проекцию указанных сил, записывая ее в отдельный файл. В результате вычислений определяется файл данных T.DAT, содержащий необходимую информацию.

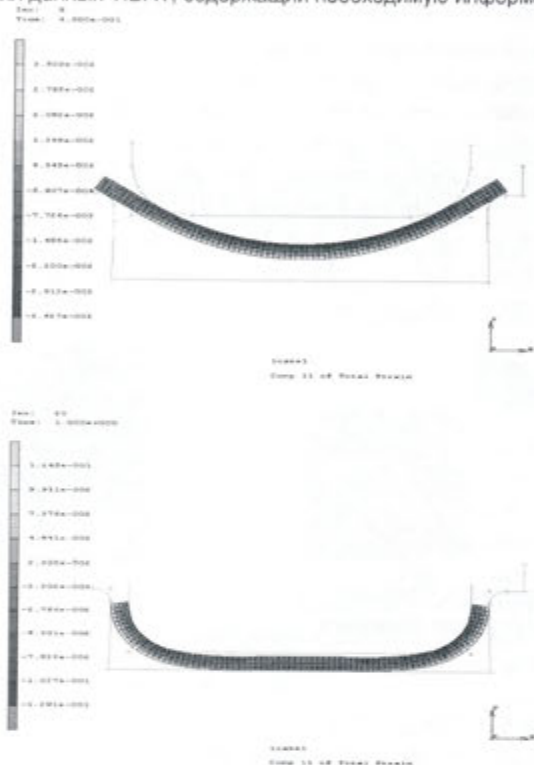


Рисунок 5. Процесс деформирования заготовки при двухугловой гибке

Далее необходимо этой информацией воспользоваться, выбрав из нее необходимые сведения, поскольку нас интересуют только узлы контакта с пуансоном. С такой задачей призвана была справиться отдельная программа SUMMA.FOR, которая также написана на Фортране. Результаты, записанные в файле T.DAT, для нее являлись исходными. Эта программа считывала данные, для каждого этапа деформирования, выбирала узлы верхней поверхности полосы, находящиеся в контакте с пуансоном и проводи-

ла суммирование вертикальных узловых сил. Результаты вычислений записывались в выходной файл RES.DAT.

Окончательная обработка результатов расчета осуществлена в программе MS.EXCEL. На рис. 6. представлена зависимость деформирующего усилия от хода пуансона.

В силу того, что решение осуществляется численно, на разных шагах решения в контактных зонах оказывается разное количество узлов. Поэтому для заключительных этапов деформирования имеет место некоторый разброс результатов. Очевидно, что при увеличении дискретности КЭ сетки этот разброс удалось бы уменьшить, однако в этом случае существенно возросло бы время решения задачи, что поставило бы под сомнение саму возможность такого решения. Поэтому (как и для всякого эксперимента) была выполнена аппроксимация полученных результатов, которая показана на рис. 6 утолщенной сплошной линией. Для ее построения был использован полином 4 порядка.

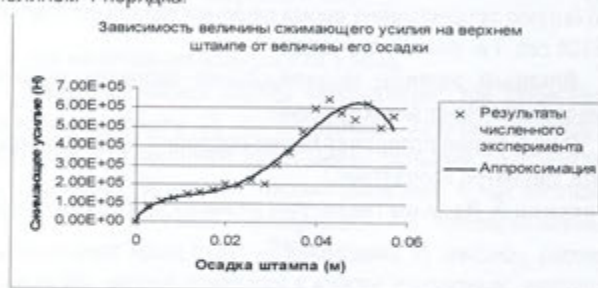


Рисунок 6. Зависимость деформирующего усилия от хода пуансона

Размеры статьи не позволяют показать, что с помощью предложенной методики можно анализировать также остаточные напряжения и деформации, т.е. определять аналитически пружинение.

Выводы

1. Предложенная методика, основанная на методе конечных элементов, показала свою пригодность для анализа силового режима двухугловой гибки полосы в штампе.
2. Методика достаточно трудоемкая, однако она позволяет определить напряжения в изгибаемой полосе как в процессе деформации, так и после разгрузки.
3. Данные моделирования позволяют с достаточной степенью точности проследить за поэтапным процессом деформирования при двухугловой П-образной гибке; определять упругие деформации, текущие и остаточные напряжения и позволяют управлять процессом пластической деформации, рассчитывать пружинение при гибке.

Литература

1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1979. – 520 с.
2. Евстратов В.А. Теория обработки металлов давлением. – Харьков: Вища школа, 1981. – 248 с.
3. Сладковский А.В., Ситаж М., Мартыненко Ю.Р. Решение задач механики железнодорожного транспорта с помощью МКЭ. Д.: Новая идеология, 2002. – 220 с.
4. Сладковский А.В. Контактное взаимодействие колес и рельсов. – Луганск: Русь, 2005. – 189 с.