

Анализ деформации металлов при глубокой вытяжке

Студент гр. 10402221 Сосункевич К. Н.

Научный руководитель – Жогло А.Г.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Существует два основных метода анализа глубокой вытяжки: экспериментальный и аналитический/численный. Экспериментальный анализ может быть полезен для изучения процесса с целью определения параметров, которые обеспечат производство изделия без дефектов, а аналитическое/численное моделирование может быть использовано для моделирования и анализа процесса на всех стадиях деформации. Этот подход менее трудоемкий и более экономичный. Формование листового металла часто включает биаксиальную деформацию в плоскости с непропорциональными путями напряжений. При глубокой вытяжке цилиндрической чашки деформация во фланце в основном обусловлена чистым сдвигом, тогда как в момент вытяжки материала в штамп она переходит в плоскую деформацию. В статье рассматривается анализ глубокой вытяжки круглых заготовок в осесимметричную цилиндрическую чашку с использованием численного моделирования. Способность заготовки к вытяжке была связана как теоретически, так и экспериментально с начальным диаметром заготовки и параметрами глубокой вытяжки.

Производство высококачественной продукции за короткое время и по низкой цене является основной целью в производстве. Чтобы избежать проб и ошибок, симуляция процессов формования листового металла все чаще используется в штамповочной промышленности для оценки путей деформации и дефектов формования, таких как разрушение и смятие. Многие исследовательские группы продолжают разрабатывать и совершенствовать программы конечных элементов для анализа, когда уже выполнен первоначальный проект заготовки и инструмента, а условия формования определены [1, 2].

Инструменты анализа основаны на мембранных, оболочечных или даже твердых элементах, с использованием статических или динамических, неявных или явных методов. Эти инструменты анализа могут быть весьма точными при использовании квалифицированными инженерами, но они являются трудоемкими и требуют дорогих вычислительных ресурсов. Компьютерное моделирование также может быть очень привлекательным и полезным для инженеров по процессам и инструментам при определении начальной заготовки (толщина, контур и поверхность), некоторых параметров процесса (граничные условия, силы зажима, условия смазки, типы и положения вытягивания и т. д.) и свойств материала (предел текучести, упрочнение, анизотропия и т. д.). В последнем десятилетии было разработано множество методов. Они в основном основаны на том, что форма желаемой детали известна. Затем проводится сравнение с первоначальной плоской заготовкой для оценки деформации конечного изделия с учетом простых конститутивных уравнений и предположений относительно действия инструмента. Эти упрощенные процедуры получили различные названия: «метод геометрического отображения», «одно- и многоэтапные формовочные рецептуры», «одноэтапное решение», «идеальная теория формования», «обратный подход» и «упрощенный подход».

Существует аналитический метод, называемый «Различные методы деформации». Рисунок 1 показывает различные режимы деформации, которые могут возникнуть при вытягивании чашки. Принимается что любой тип деформации в листе может быть представлен точкой на диаграмме ε_p против ε_θ , где ε_p – это главная деформация в плоскости листа, а ε_θ – деформация, перпендикулярная ε_p . Деформация толщины ε_z определяется по закону сохранения объема. Эта диаграмма показывает различные типы деформации, возможные при вытяжке. Режим деформации визуально представлен на графике через деформацию круга. На

практике величина и режим деформации компонента измеряются с помощью оптического метода, используя полный рисунок кругов или точек, напечатанных на заготовке до деформации.

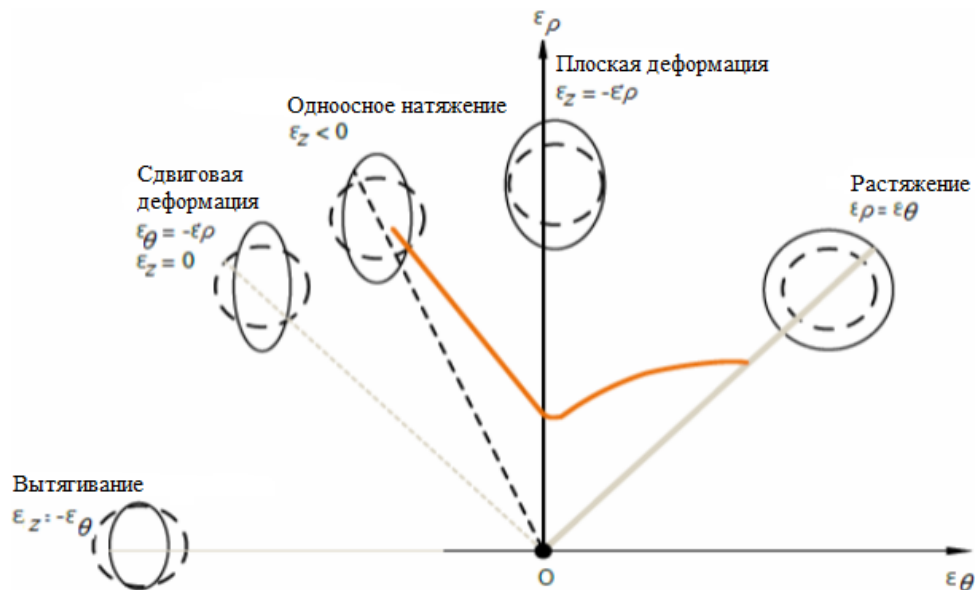


Рисунок 1 – Диаграмма деформации при формовании стали, показывающая типичную предельную кривую формования стальных заготовок

Характерные случаи или режимы деформации включают:

1) Растяжение или биаксиальное натяжение: сопровождается уменьшением толщины и обычно происходит в сферических формах, таких как на носике штампа. Величина деформации в основном определяется формой и сжимающей силой, действующей на фланец, оказываемой зажимом заготовки.

2) Плоская деформация в натяжении: обычно происходит в вертикальных стенках детали, из-за растягивающего напряжения, вызванного удержанием под зажимом заготовки, или непосредственно перед окончанием формования, когда скольжение в инструменте ограничено.

3) Одноосное натяжение: это ситуация, встречающаяся при проведении испытания на растяжение образца, и она возникает в переходных зонах между областями плоской деформации в натяжении и плоской деформации в сжиме.

4) Сдвиговая деформация: представляет собой идеальный режим формования; здесь все растягивающие деформации компенсируются сжимающими деформациями, так что толщина остается постоянной. Этот тип деформации может происходить под зажимом заготовки, если поток материала равномерный (осесимметричное вытягивание).

5) Вытягивание: связано с утолщением из-за уменьшения ширины (окружности). Обычно это неизбежно при глубоком вытягивании, но может быть контролируемо под зажимом заготовки. Однако его возникновение в неподдерживаемых областях приведет к образованию смятий или складок. [3]

Существует так же экспериментальный метод. Листовой металл, использованный в данном исследовании, был 2 мм толщиной и имел диаметр 148,5 мм, изготовлен из углеродистой стали по немецкому стандарту DIN-EN10130-FePO4-(St14).

Матрица была изготовлена из стали СК 45 средней углеродистости, при этом поверхность штампа и матрицы была нитридирована для повышения твердости. В качестве смазки использовалась полиэтиленовая бумага (нейлон). Исходный размер листа был 148,5 см в диаметре, что определяло направление прокатки. После вытягивания были вычислены

деформации в направлении прокатки. Процесс вытягивания показан на рисунке 2. Для вытягивания чашек использовался гидравлический пресс мощностью 50 тонн.

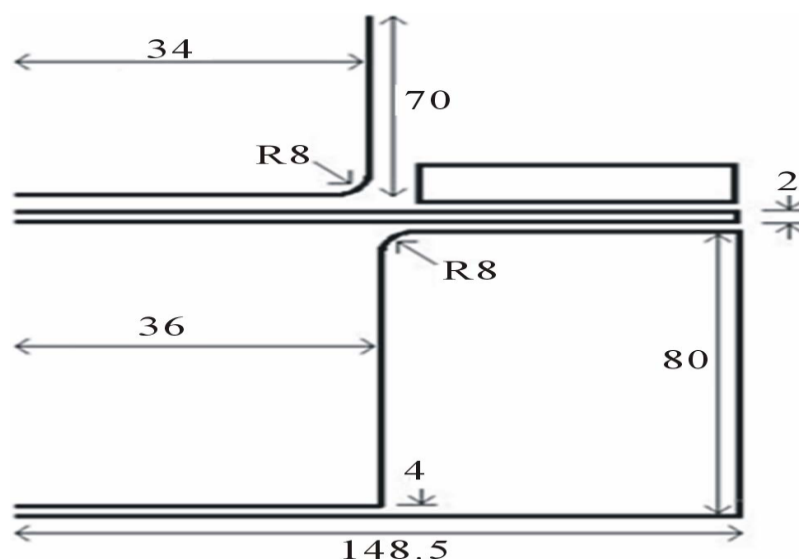


Рисунок 2 – Схема процесса вытяжки цилиндрической чашки

После процесса вытяжки вытянутые детали были нарезаны в направлении прокатки, и толщина измерялась в соответствии с рисунком 3.

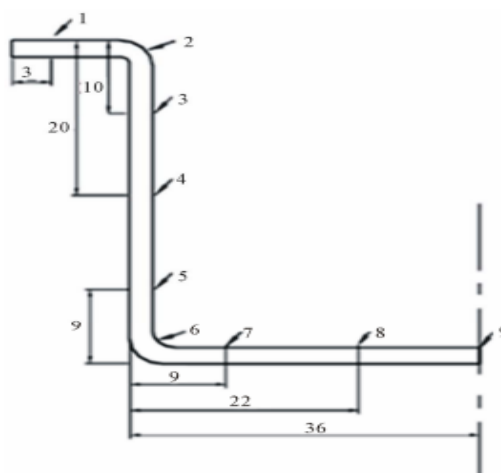


Рисунок 3 – Измерения позиций после вырезания вытянутых чашек

Согласно результатам этого исследования, для заготовки толщиной 2 мм максимальное утончение в вытянутых чашках происходит в позиции 6 и составляет около 18% от толщины заготовки. Максимальное утолщение происходит в позиции 1 и составляет около 11% от толщины заготовки. Схематические изменения толщины в вытянутой чашке в процессе глубокого вытягивания показаны на рисунке 4 [4].

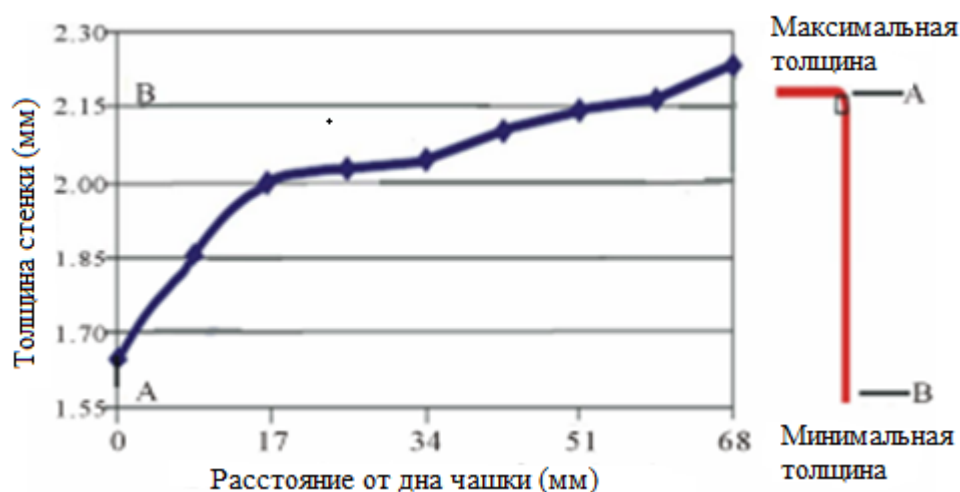


Рисунок 4 – Схематическое изображение изменения толщины в процессе вытягивания чашки

По итогу была рассмотрена диаграмма, отображающая различные возможные типы деформации. Были проведены эксперименты для сопоставления результатов с аналитическим методом. Результаты экспериментов совпадают с теоретическими данными. Этот анализ полезен для предсказания изменения толщины продукции до проведения реального процесса вытягивания. Он может быть использован для оценки критической толщины, при которой происходит разрушение продукции, а также для определения минимального зазора между матрицей и пуансоном для последующего процесса металлообработки.

Список использованных источников

- 1 Metal forming process simulation in industry : papers from Intern. Conf. and Workshop., Baden, 28 – 30 Sept. 1994 / Germany ; ed.: B. Kroplin [et al.]. – Baden : Univ. of Stuttgart, 1994. – 30 p.
- 2 Sheet Metal forming simulations with a friction model based on local contract conditions : papers from the 3rd Intern. conf. on Numerical Simulation of 3D Sheet Metal Forming Processes., Dearborn, 29 Sept.–3 Oct. 1996 / Univ. of Ohio ; ed.: G. L. Kinzel [et al.]. – Columbus : Univ. of Ohio, 1996. – 135 p.
- 3 ArcelorMittal [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://fce.arcelormittal.com/repository/fce/PDF-technical-chapters/Prcat_Deepdrawing.pdf. – Дата доступа: 23.04.2025.
4. ResearchGate [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/272667920_Theoretical_and_Experimental_Analysis_of_Deep_Drawing_Cylindrical_Cup. – Дата доступа: 23.04.2025.