

УДК 621.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ЗАГОТОВКИ НА ТОЧНОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММЫ ПРЕДЕЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Светлана Витальевна Изосимова

Студент 6 курса

кафедры «Технологии обработки металлов давлением»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.В. Власов,

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»

Введение

Одной из важнейших задач при разработке технологического процесса изготовления детали является прогнозирование дефектов, возникающих при деформировании.

Для анализа предельного формоизменения материала при листовой штамповке широко применяются диаграммы предельных деформаций (FLD-диаграммы), которые устанавливают связь между компонентами главных деформаций в момент разрушения.

Диаграммы предельных деформаций строят экспериментально для каждой марки материала по результатам испытаний в условиях различных напряженных состояний. По оси ординат диаграммы откладываются наибольшие главные деформации, по оси абсцисс – наименьшие главные деформации. Полученная кривая называется кривой предельного формоизменения. Область положительных значений деформаций δ_2 соответствует двухосному растяжению, при $\delta_2 = 0$ наблюдается плоское деформированное состояние, в области отрицательных значений δ_2 – одноосное растяжение. Диаграмма разделяется на зоны, сочетание главных деформаций в которых прогнозирует тот или иной дефект.

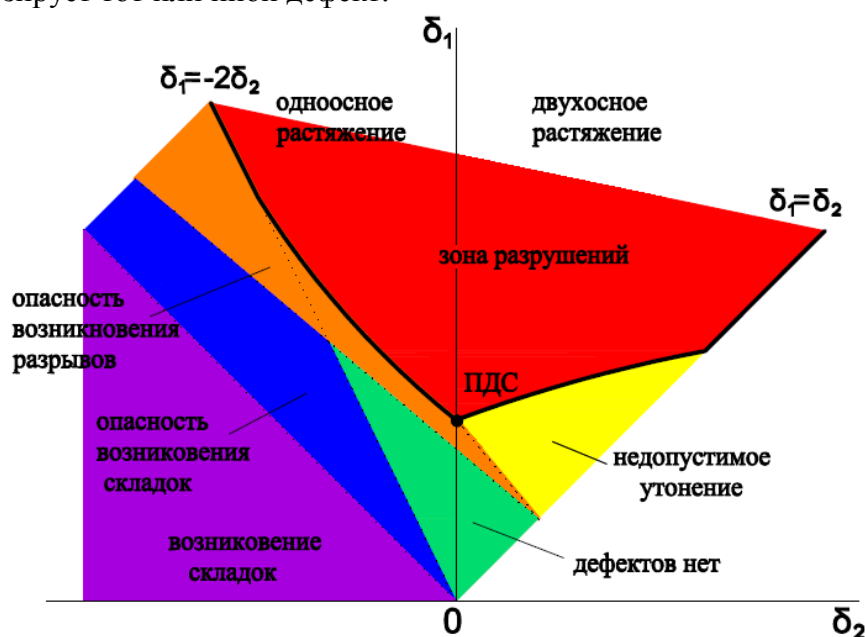


Рис.1. Диаграмма предельных деформаций

Диаграммы предельных деформаций часто используются на стадии проектирования инструмента путем математического моделирования. Таким образом можно проанализировать технологию изготовления детали и оптимизировать технологический процесс прежде чем будет изготовлен инструмент, что значительно сокращает время и затраты на изготовление продукции.

Согласно EN ISO 12004-2:2008 существуют 2 основных метода проведения испытаний для построения FLD-диаграмм: метод Наказимы и метод Марчиньяка.

Метод Наказимы основан на деформации листовых заготовок полусферическим пуансоном. Основным недостатком данного метода является необходимость использования сложной системы смазочных материалов для создания условий минимального трения.

При испытаниях по методу Марчиньяка деформирование ведется цилиндрическим пуансоном с плоским дном. Для исключения контакта поверхностей тестируемого образца и пуансона применяется дополнительная заготовка с центральным отверстием. Преимуществом данного метода является удобство контроля за течением процесса.

В качестве образцов для испытания могут применяться заготовки различной формы.

Постановка задачи

Целью данного исследования является выбор оптимальной формы заготовки и метода проведения испытаний, обеспечивающих наибольшую точность построения FLD-диаграммы, а также определение минимального числа заготовок, достаточного для построения кривой предельного формоизменения в условиях производства.

Для исследования выбрано 6 типов заготовок и для каждого типа заготовки выполнено моделирование в ПК AutoForm по методу Наказимы и по методу Марчиньяка.

На основе результатов моделирования построены диаграммы предельных деформаций и проведен анализ точности их построения.

Моделирование испытаний

Исследуемая сталь:

Марка – сталь 08Ю

Класс - сталь конструкционная углеродистая качественная.

Для моделирования в ПК AutoForm используется аналог стали 08Ю - сталь DC03.

Толщина заготовки:

$S=0.9$

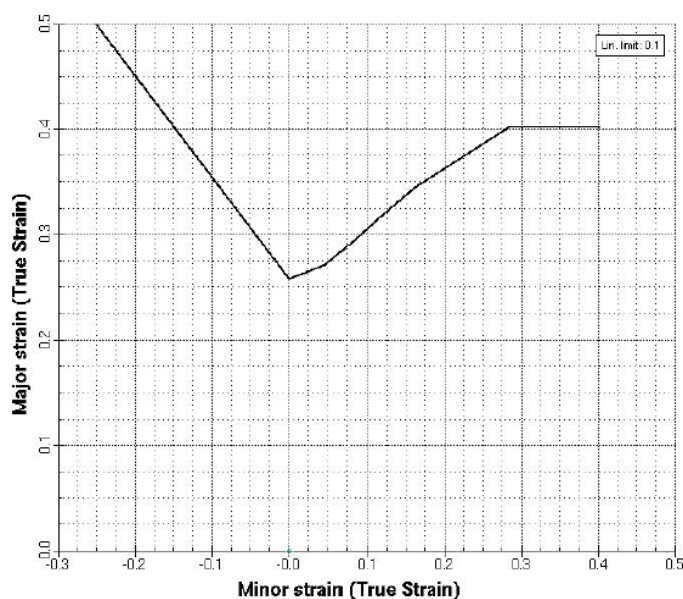


Рис.2. Диаграмма предельных деформаций для стали DC03

В данной работе исследуются следующие типы заготовок:

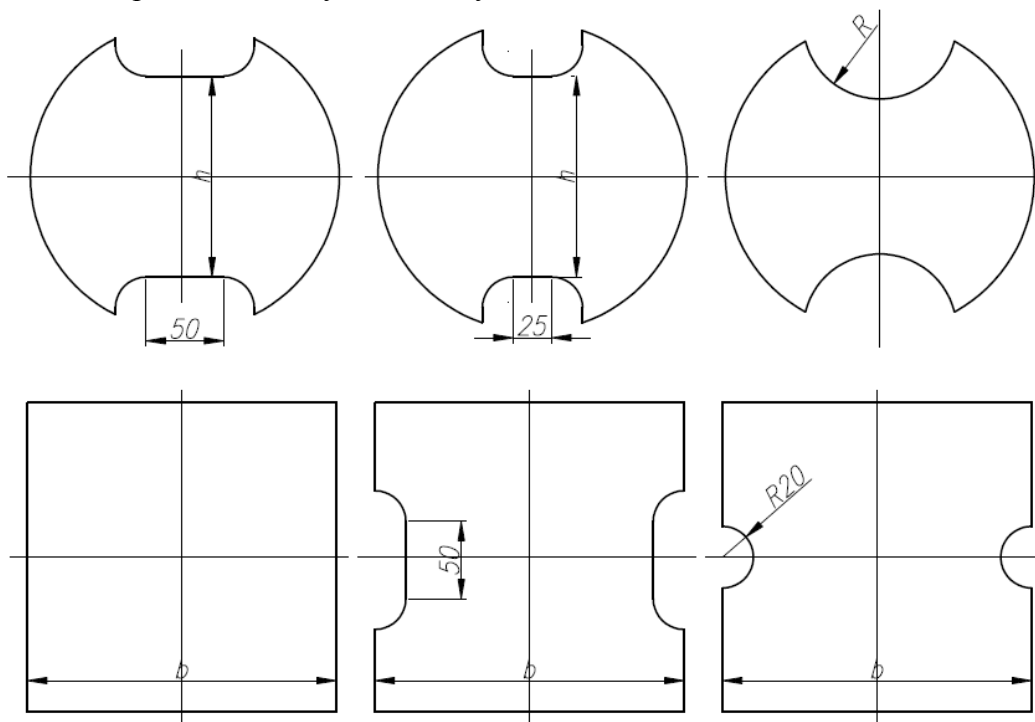


Рис.3. Виды исследуемых заготовок

Варьирование одного из размеров заготовки обеспечивает получение различных напряженных состояний при деформировании.

Для создания условий идентичных процессу растяжения необходимо закрепить заготовку по краю, для чего на инструменте изготавливается порог. При моделировании в ПК AutoForm существует возможность задания порога в виде линии, по длине которой действуют силы, препятствующие течению металла.

Деформирование при испытаниях по методу Наказимы ведется по следующей схеме:

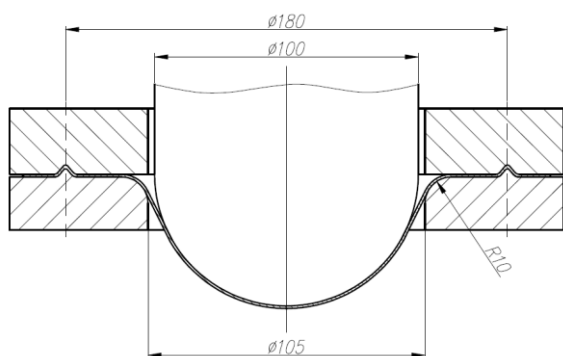


Рис.4. Схема испытаний по методу Наказимы

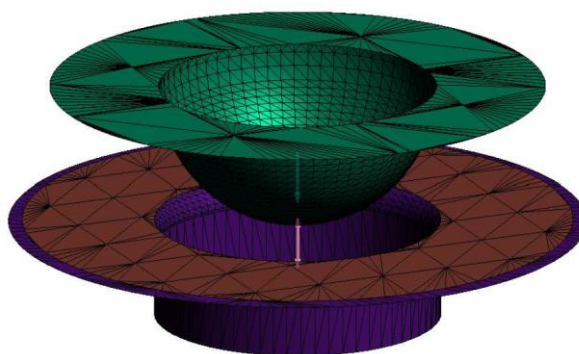


Рис.5. Модель для испытаний по методу Наказимы в ПК AutoForm

Коэффициент трения между поверхностью заготовки и пуансона принимается $\mu=0.05$.

Для построения диаграммы пригодны только те образцы, при деформировании которых разрушение произошло на вершине купола заготовки или на расстоянии не более 15 мм от вершины.

Так как в ПК AutoForm отсутствует возможность деформирования одновременно двух заготовок, моделируется процесс испытания по упрощенному методу Марчиньяка: для исключения контакта поверхности заготовки с поверхностью пуансона в зоне ожидаемого возникновения трещин используется пуансон с отверстием.

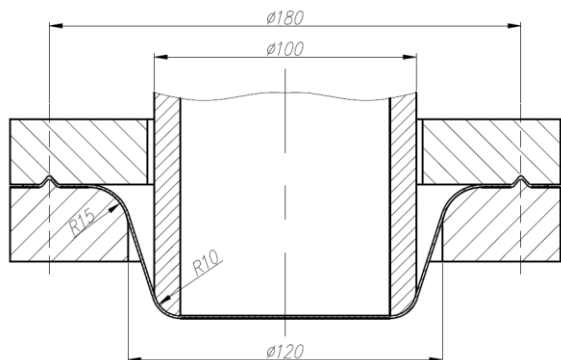


Рис.6. Схема испытаний по методу Марчиньяка

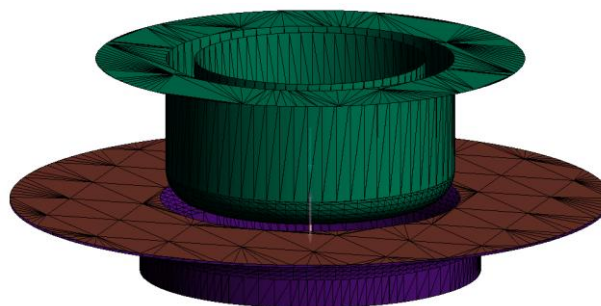


Рис.7. Модель для испытаний по методу Марчиньяка в ПК AutoForm

Применение смазочных материалов не требуется, коэффициент трения между поверхностью заготовки и пуансона принимается $\mu=0.15$.

Для построения диаграммы пригодны только те образцы, при деформировании которых разрушение произошло на донной поверхности заготовки.

Деформирование ведется до момента возникновения разрушения. Для этого момента определяются главные деформации и соответствующие точки наносятся на диаграмму.

Результаты

I. Моделирование процесса из заготовок I типа.

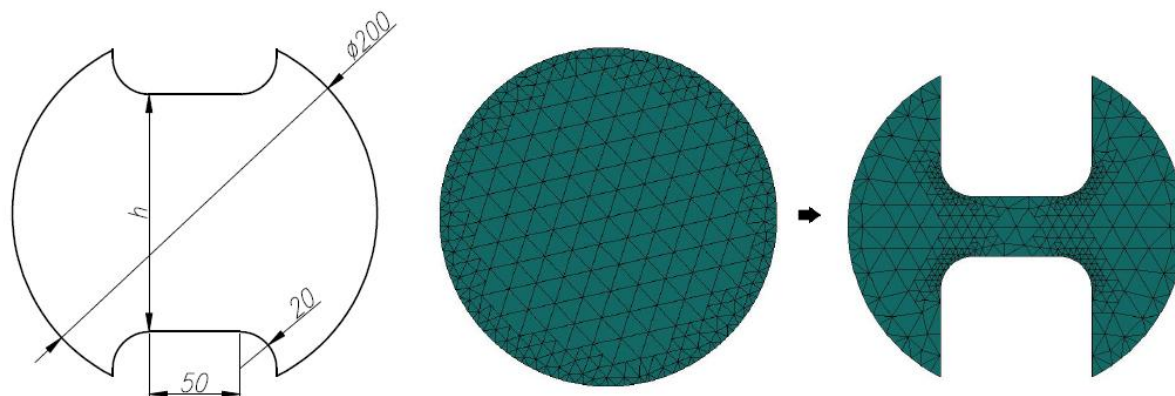


Рис.8. Заготовка для испытаний I типа

Таблица 1. Размеры заготовок I типа

№ образца	1	2	3	4	5	6	7	8
h, мм	0	135	125	115	95	75	55	35

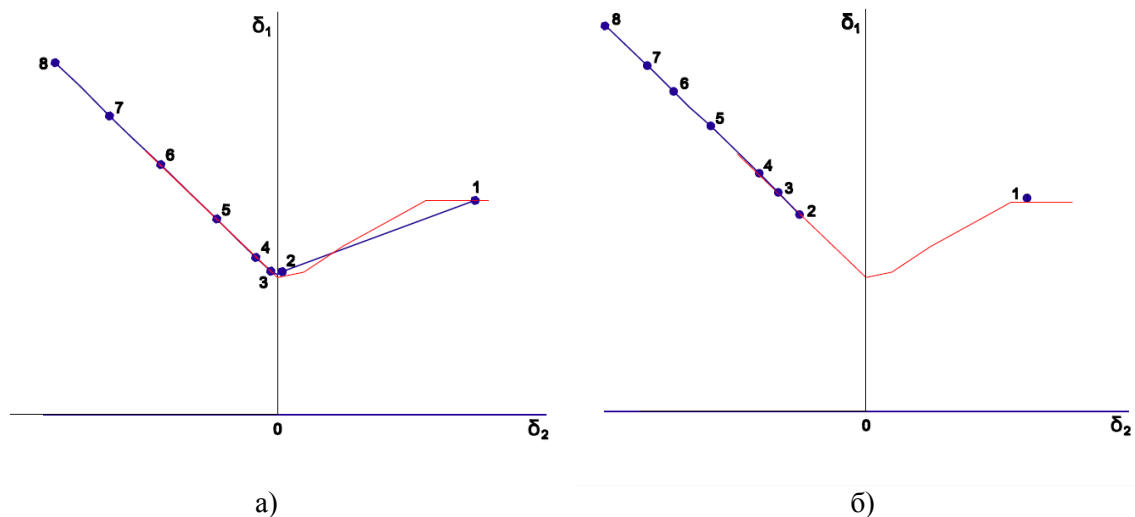


Рис.9. FLD-диаграмма для заготовок I типа, построенная по результатам моделирования испытаний: а) по методу Наказимы; б) по методу Марчиньяка;

При моделировании испытаний заготовок I типа по методу Наказимы были получены результаты для построения кривой предельного формоизменения в зоне отрицательных значений деформации δ_2 , то есть в зоне одноосного растяжения, а также определено значение δ_1 при плоской деформации. В зоне положительных значений деформации δ_2 (двухосное растяжение) форма кривой не определена.

При моделировании испытаний заготовок I типа по методу Марчиньяка были получены результаты для построения кривой предельного формоизменения только в зоне одноосного растяжения.

II. Моделирование процесса из заготовок II типа.

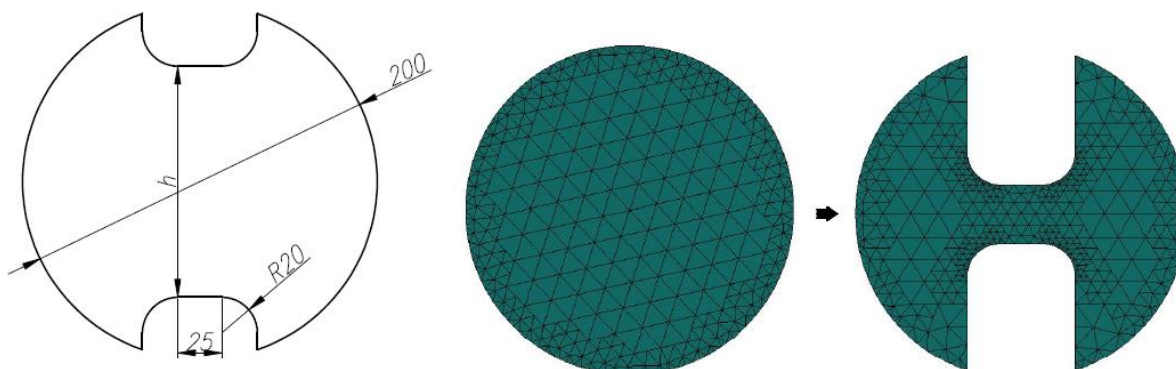


Рис.10. Заготовка для испытаний II типа

Таблица 2. Размеры заготовок II типа

№ образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h, мм	0	145	135	125	115	105	95	75	55	35

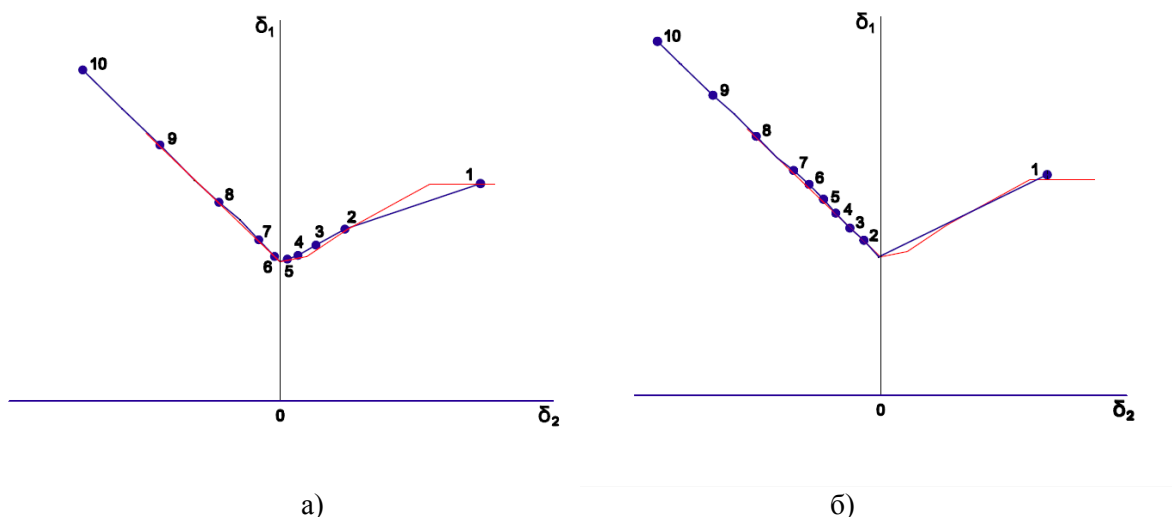


Рис.11. FLD-диаграмма для заготовок II типа, построенная по результатам моделирования испытаний: а) по методу Наказимы; б) по методу Марчиньяка;

При моделировании испытаний заготовок II типа по методу Наказимы были получены результаты для построения кривой предельного формоизменения в зоне одноосного растяжения и значение δ_1 при плоской деформации, в зоне двухосного растяжения форма кривой определена не достаточно точно.

При моделировании испытаний заготовок II типа по методу Марчиньяка были получены результаты для построения кривой предельного формоизменения только в зоне одноосного растяжения.

III. Моделирование процесса из заготовок III типа.

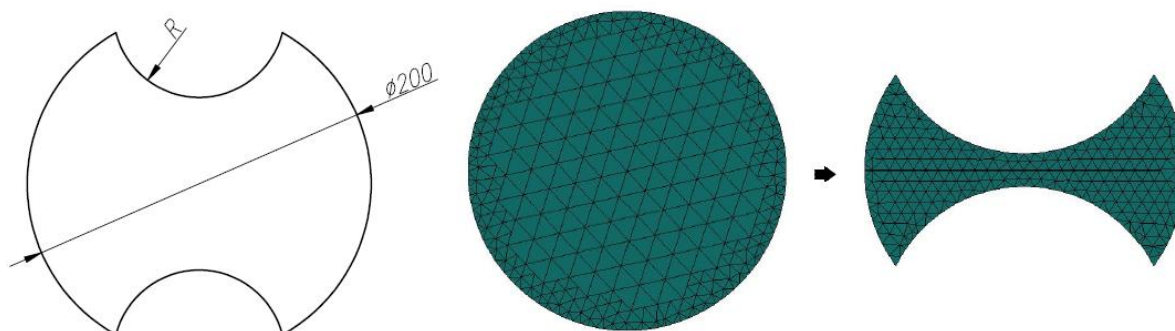


Рис.12. Заготовка для испытаний III типа

Таблица 3. Размеры заготовок III типа

№ образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R, мм	0	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90

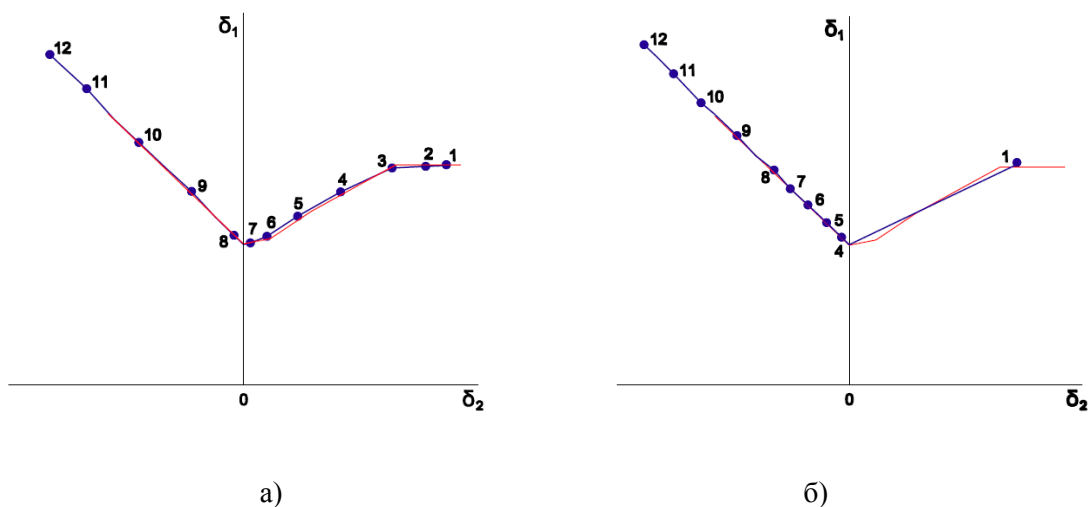


Рис.13. FLD-диаграмма для заготовок III типа, построенная по результатам моделирования испытаний: а) по методу Наказимы; б) по методу Марчиньяка;

При моделировании испытаний заготовок III типа по методу Наказимы были получены результаты для точного построения кривой предельного формоизменения в зонах одноосного и двухосного растяжения, а также определено значение δ_1 при плоской деформации.

При моделировании испытаний заготовок III типа по методу Марчиньяка были получены результаты для построения кривой предельного формоизменения в зоне одноосного растяжения и значение δ_1 при плоской деформации. Образцы №2 и №3 оказались для построения кривой не пригодны.

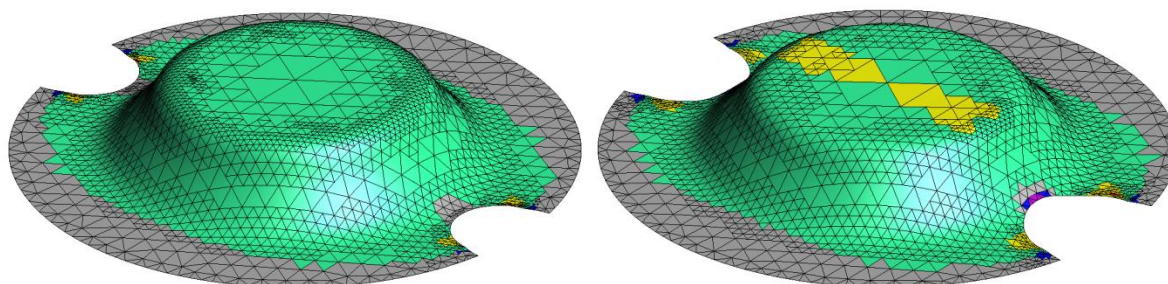


Рис.14. Образцы №2 и №3 после испытаний по методу Марчиньяка

IV. Моделирование процесса из заготовок IV типа.

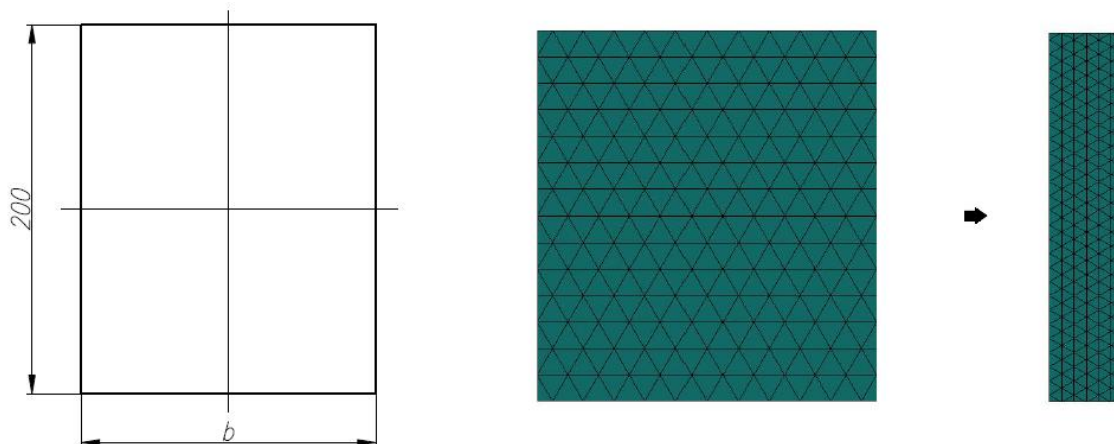


Рис.15. Заготовка для испытаний IV типа

Таблица 4. Размеры заготовок IV типа

№ образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9
b, мм	200	170	160	150	140	120	100	60	40

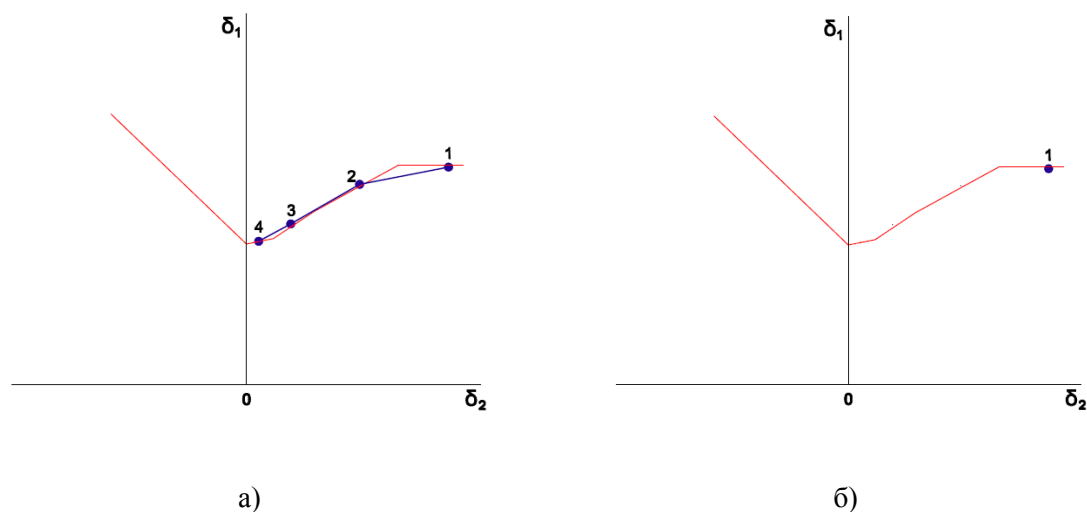


Рис.16. FLD-диаграмма для заготовок IV типа, построенная по результатам моделирования испытаний: а) по методу Наказимы; б) по методу Марчиньяка;

При моделировании испытаний заготовок IV типа были получены неудовлетворительные результаты как для метода Наказимы, так и для метода Марчиньяка, поскольку ряд заготовок оказался не пригоден для построения кривой.

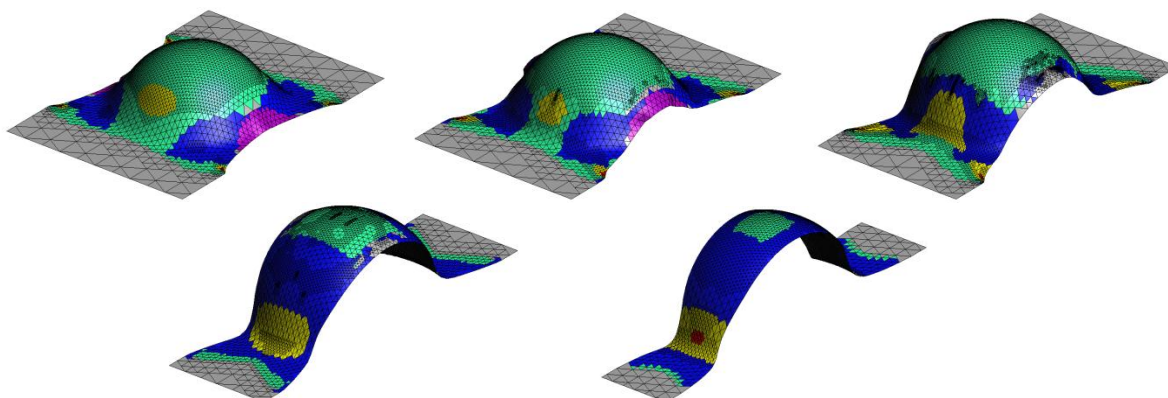


Рис.17. Образцы № 5, 6, 7, 8, 9 после испытаний по методу Наказимы

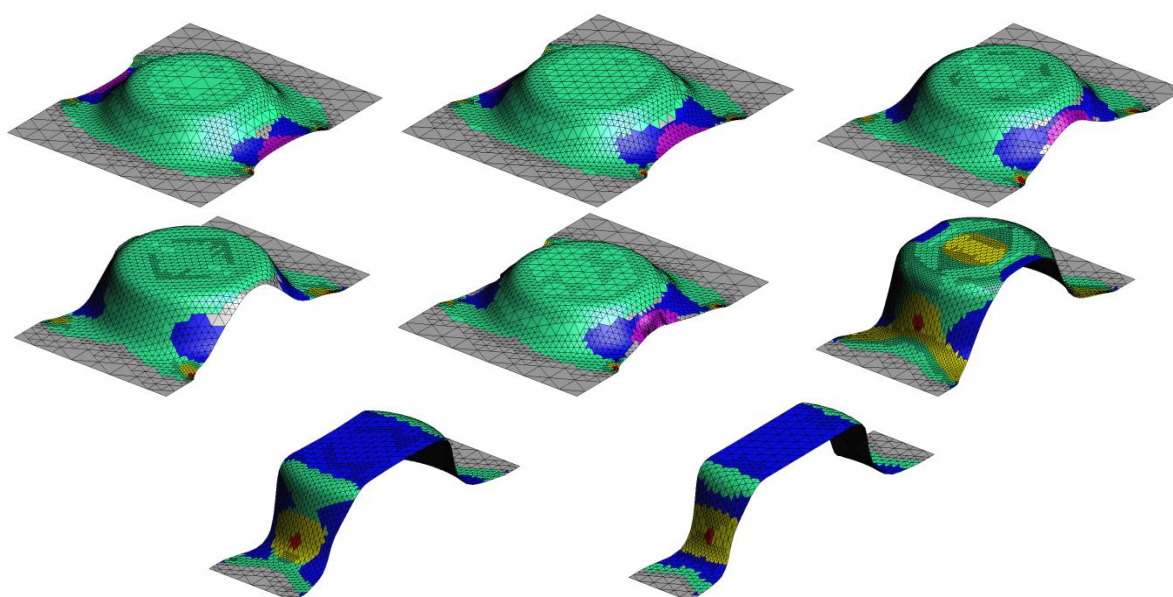


Рис.18. Образцы № 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 после испытаний по методу Марчиньяка

V. Моделирование процесса из заготовок V типа.

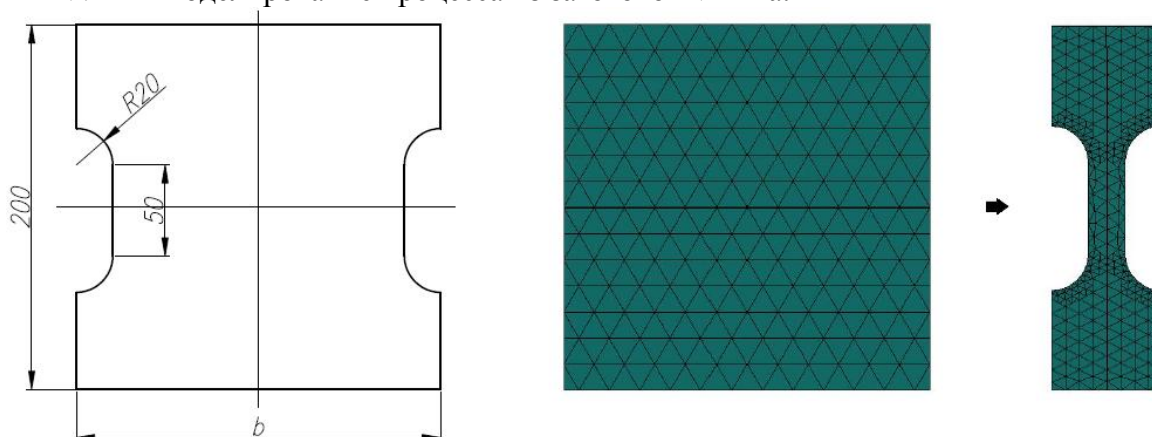


Рис.19. Заготовка для испытаний V типа

Таблица 5. Размеры заготовок V типа

№ образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
b, мм	200	160	150	140	130	120	100	80	60	40

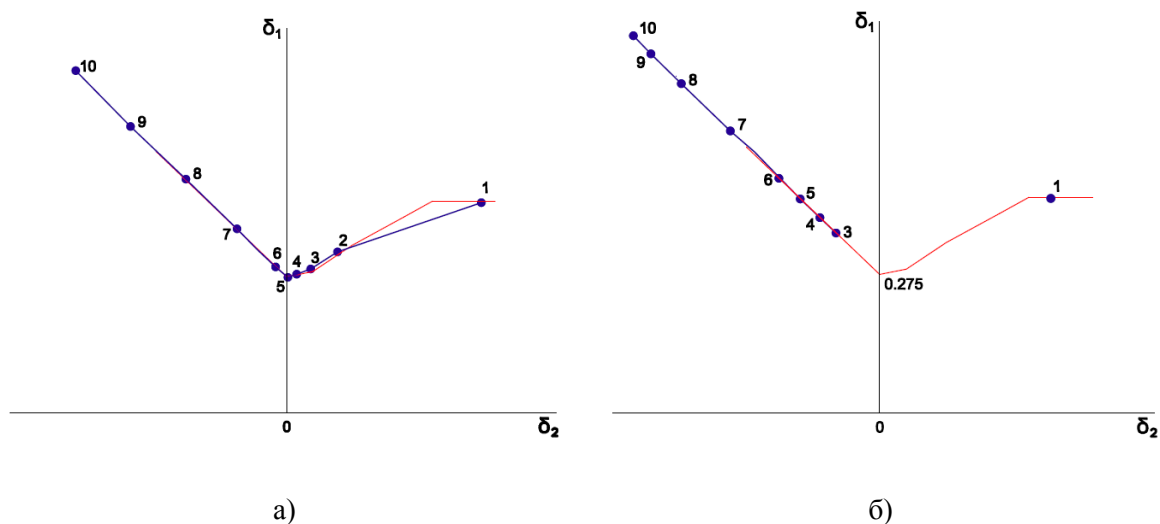


Рис.20. FLD-диаграмма для заготовок V типа, построенная по результатам моделирования испытаний: а) по методу Наказимы; б) по методу Марчиньяка;

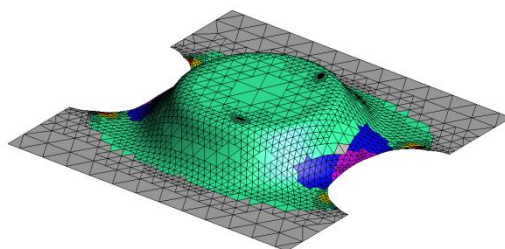


Рис.21. Образец №2 после испытаний по методу Марчиньяка

При моделировании испытаний заготовок V типа по методу Наказимы были получены результаты для построения кривой предельного формоизменения в зоне одноосного растяжения и значение δ_1 при плоской деформации, в зоне двухосного растяжения форма кривой определена не достаточно точно.

При моделировании испытаний заготовок V типа по методу Марчиньяка были получены результаты для построения кривой предельного формоизменения только в зоне одноосного растяжения.

VI. Моделирование процесса из заготовок VI типа.

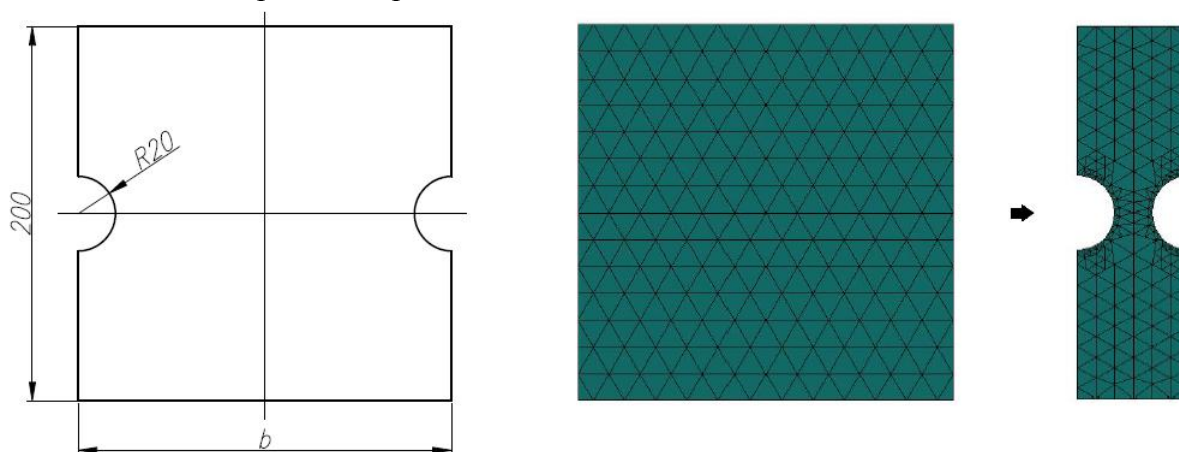


Рис.22. Заготовка для испытаний VI типа

Таблица 6. Размеры заготовок VI типа

№ образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
b, мм	200	160	150	140	130	120	110	100	80	60	40	20

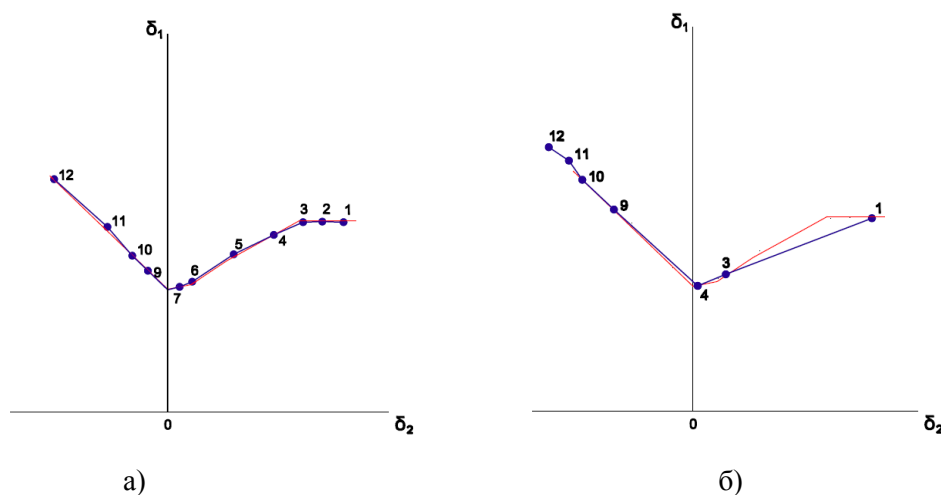


Рис.23. FLD-диаграмма для заготовок VI типа, построенная по результатам моделирования испытаний: а) по методу Наказимы; б) по методу Марчиньяка;

При моделировании испытаний заготовок VI типа по методу Наказимы были получены результаты для построения кривой предельного формоизменения в зонах одноосного и двухосного растяжения, но не пригодным для построения оказался образец №8, необходимый для определения значения δ_1 при плоской деформации.

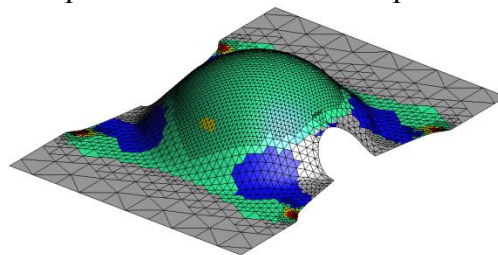


Рис.24. Образец №8 после испытаний по методу Наказимы

При моделировании испытаний заготовок VI типа по методу Марчиньяка были получены результаты для построения кривой предельного формоизменения только в зоне одноосного растяжения и значение δ_1 при плоской деформации, так как ряд образцов оказался не пригоден для построения кривой.

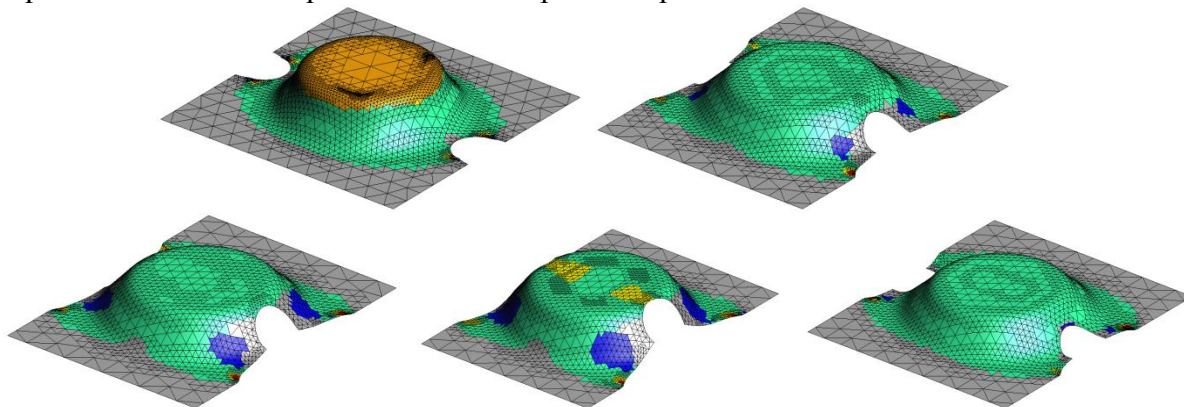


Рис.25. Образцы № 2, 5, 6, 7, 8 после испытаний по методу Марчиньяка

Выводы

Наибольшая точность при построении диаграммы предельных деформаций достигается при проведении испытаний по методу Наказимы при использовании III типа заготовки. Для полного описания кривой предельного формоизменения достаточно использования 5 образцов: № 1, 3, 6, 7, 12.

Так как в данной работе исследование проводилось по упрощенному методу Марчиньяка, для получения более достоверных результатов рекомендуется провести моделирование испытаний в ПК ANSYS/LSDYNA, используя действительный тест Марчиньяка.

Литература

1. ISO 12004-2:2008 Metallic materials - Sheet and strip - Determination of forming-limit curves - Part 2: Determination of forming-limit curves in the laboratory