

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

УТВЕРЖДАЮ
Зав.кафедрой «СОМДиРП»
В.В. Ельцов
(И.О. Фамилия)
(подпись)
«___» _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение бакалаврской работы

Студент Грунюшкин Александр Николаевич

1. Тема Исследование штамповки кузовных деталей легкового автомобиля из магниевых сплавов

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы 06.06.2016

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе Кривые упрочнения магниевого сплава AZ31B-O

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов 1. Развитие конструкции автомобиля, 2. Свойства деформируемых магниевых сплавов, 3. Механические и технологические свойства магниевых сплавов, 4.

Компьютерное моделирование процесса штамповки магниевого сплава, 5. Экономическая эффективность, 6. Безопасность и экологичность работы.

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала

Презентационный материал

6. Консультанты по разделам

д.п.н., профессор Горина Л.Н.

к.э.н., доцент Краснопевцева И.В.

к.т.н., доцент Виткалов В.Г.

7. Дата выдачи задания «30» января 2016г.

Заказчик *(указывается должность, место работы, ученая степень, ученое звание)*

(подпись)

(И.О. Фамилия)

Руководитель выпускной квалификационной работы

(подпись)

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись)

(И.О. Фамилия)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

УТВЕРЖДАЮ
Зав.кафедрой «СОМДиРП»
_____ В.В. Ельцов
« ____ » _____ 20 __ г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
выполнения бакалаврской работы

Студента Грунюшкина Александра Николаевича
по теме Исследование штамповки кузовных деталей легкового автомобиля из магниевых сплавов

| Наименование раздела работы | Плановый срок выполнения раздела | Фактический срок выполнения раздела | Отметка о выполнении | Подпись руководителя |
|---|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------|
| 1. Анализ развития конструкции автомобиля | 15.02.2016 | 12.02.2016 | выполнено | |
| 2. Анализ деформируемых магниевых сплавов | 10.03.2016 | 15.03.2016 | выполнено | |
| 3. Определение механических и технологических свойств магниевых сплавов | 19.04.2016 | 21.04.2016 | выполнено | |
| 4. Компьютерное моделирование процесса штамповки магниевого сплава | 25.05.2016 | 28.05.2016 | выполнено | |
| 5. Экономическая эффективность | 28.05.2016 | 01.06.2016 | выполнено | |
| 6. Безопасность и экологичность технического объекта | 01.06.2016 | 06.06.2016 | выполнено | |

Руководитель выпускной
квалификационной работы

(подпись) _____ (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись) _____ (И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Бакалаврская работа посвящена исследованию штамповки кузовных деталей легкового автомобиля из магниевых сплавов.

В первом разделе были рассмотрены современные тенденции, обуславливающие применение новых материалов в автомобилестроении.

Второй раздел посвящен свойствам и получению деформируемых магниевых сплавов.

В третьем разделе проанализированы механические и технологические свойства магниевых сплавов для листовой штамповки, как основные методы оценки штампуемости материала, проведено компьютерное моделирование данных испытаний в программах для инженерного анализа LS-DYNA и AutoForm.

В четвертом разделе проводится компьютерное моделирование процесса штамповки кузовной детали из магниевого сплава в AutoForm.

В пятом разделе (экономическом) произведено организационно-экономическое обоснование работы.

Шестой раздел посвящен безопасности и экологичности проводимого исследования.

В заключении подведены итоги исследования и сделаны выводы по данной работе.

Бакалаврская работа состоит из расчетно-пояснительной записки объемом 91 страница, включая 51 рисунок, 18 таблиц, списка литературы из 21 источника и презентационного материала.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 7 |
| 1. Развитие конструкции автомобиля | 8 |
| 1.1 Тенденции развития конструкции легковых автомобилей..... | 8 |
| 1.2. Новые материалы для автомобильных кузовов | 10 |
| 1.2.1 Алюминий и алюминиевые сплавы | 11 |
| 1.2.2. Пластики (пластмассы) и композиционные материалы | 12 |
| 1.3 Магниевого сплавы в автомобилестроении | 14 |
| 2. Деформируемые магниевые сплавы..... | 17 |
| 2.1 Производство листов..... | 18 |
| 2.2 Магний деформируемый сплав AZ31B | 22 |
| 2.3 Поведение магниевых сплавов при пластической деформации..... | 22 |
| 3. Анализ механических и технологических свойств магниевых сплавов | 25 |
| 3.1 Механические испытания на растяжение..... | 25 |
| 3.2 Проведение механического испытания на растяжение | 28 |
| 3.2.1 Оборудование | 28 |
| 3.2.2 Испытываемые образцы | 29 |
| 3.2.3 Процедура обработки исходных данных..... | 30 |
| 3.2.4 Обработка данных эксперимента | 31 |
| 3.3 Компьютерное моделирование испытания на растяжения в программе LS-DYNA | 36 |
| 3.4 Технологические испытания..... | 56 |
| 3.4.1 Моделирование испытания на выдавливание сферической лунки по Ериксену..... | 57 |
| 4 Компьютерное моделирование процесса вытяжки в AutoForm..... | 61 |
| 4.1 Задание исходных данных | 62 |
| 4.2 Моделирование процесса вытяжки коробчатой детали | 65 |
| 4.3. Моделирование процесса вытяжки детали «панель капота наружная»... | 69 |
| 5. Экономическая эффективность | 72 |

| | | |
|------|--|----|
| 5.1 | Определение трудоемкости и длительности выполнения каждого этапа работ | 73 |
| 5.2 | Построение линейного план-графика | 75 |
| 5.3 | Расчет затрат на проведение бакалаврской работы..... | 75 |
| 5.4 | Расчет экономической эффективности..... | 77 |
| 6. | Безопасность и экологичность технического объекта | 79 |
| 6.1 | Конструктивно-технологическая характеристика объекта | 79 |
| 6.2 | Идентификация профессиональных рисков..... | 79 |
| 6.3 | Методы и средства снижения профессиональных рисков..... | 81 |
| 6.4 | Обеспечение пожарной безопасности технического объекта | 83 |
| 6.5. | Обеспечение экологической безопасности технического объекта..... | 85 |
| | ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 87 |
| | СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 89 |

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время перед автопроизводителями по всему миру стоят две основные проблемы – это проблемы экологии и снижение расхода углеводородного топлива. Решения именно этих проблем диктуют направления исследований в области автомобилестроения в настоящее время. Одним из основных факторов, влияющих на топливную экономичность является масса автомобиля, которую в свою очередь можно снизить за счет использования в конструкции автомобиля более легких материалов, таких как алюминий, пластмассы, композиционные материалы, магниевые сплавы.

Магниевые сплавы самые легкие конструкционные материалы с высокими прочностными показателями, что и обуславливает повышенный к нему интерес со стороны автоконцернов по всему миру. В настоящее время наиболее актуальны вопросы возможности использования магниевых сплавов при штамповке, для получения кузовных деталей автомобиля.

Цель работы: получение технико-экономического эффекта от внедрения магниевых сплавов для холодной листовой штамповки кузовных деталей легкового автомобиля.

Поставленные задачи:

- Анализ современных тенденций, обуславливающих использование новых материалов в автомобилестроении;
- Анализ свойств и получения деформируемых магниевых сплавов;
- Проведение компьютерного моделирования механических и технологических испытаний магниевых сплавов в программных продуктах инженерного анализа LS-DYNA и AutoForm;
- Компьютерное моделирование процесса штамповки кузовной детали легкового автомобиля с помощью AutoForm;
- Подведение итогов работы, оценка будущих перспектив и разработка мер по увеличению применимости магниевых сплавов в автомобилестроении.

1. Развитие конструкции автомобиля

1.1 Тенденции развития конструкции легковых автомобилей

Автомобилестроители постоянно работают над совершенствованием конструкции автомобилей, повышением их эксплуатационных качеств, производительности, приспособленности к использованию, уменьшению расходов топлива и смазочных материалов.

В настоящее время направление развития автомобилестроения определяется комплексом социальных, экономических и природных факторов и причин.

Социальными причинами обусловлена тенденция повышение безопасности автомобилей, а также повышение привлекательности автомобиля для потребителя [1]. Повышение безопасности автомобиля заключается в усовершенствовании активной и пассивной безопасности автомобиля. Решением этой задачи является оснащение автомобилей современными средствами электронной, микропроцессорной техники, глобальными информационными системами, имеющими связь с каждым автомобилем (системы телематики), которые будут принимать на себя некоторые функции управления автомобилем или помощи водителю в критических режимах. Повышение привлекательности охватывает широкий круг вопросов и связано со стремлением автопроизводителей создавать автомобили, наиболее полно отвечающие индивидуальным запросам конкретного человека. Можно ожидать снижение до 1,5 лет периодичности выпуска на рынок новых моделей, увеличение количества модификаций автомобиля, применение новых устройств, повышающих комфорт (систем поддержания необходимого климата в салоне, устройств автоматического управления агрегатами и т. д) [1].

Экономические и природные факторы, среди которых, с одной стороны, сокращающиеся запасы нефти и природного газа, с другой - все более ясно осознаваемые экологические требования, определяют направление повышения

топливной экономичности и снижение загрязнения окружающей среды, которое является одним из ведущих в современном автостроении. К экономическим факторам относится также снижение стоимости производства, обслуживания и утилизации автомобильного транспорта.

Одним из направлений решения этих проблем видится в использовании двигателей, использующие альтернативные источники энергии, водород, природный газ, биотопливо. На смену привычному двигателю внутреннего сгорания приходят электродвигатели и гибридные силовые установки с использованием альтернативных источников энергии. Здесь наметились интересные перспективы, связанные с применением топливных элементов, которые преобразуют топливо (водород или метанол) в электрический ток, исключая необходимость в двигателе внутреннего сгорания [1]. При работе на водородном топливе решается проблема токсичности отработавших газов, так как в результате сгорания водорода образуется вода. Однако получение водорода связано с большими энергетическими затратами, затруднены хранение и транспортирование водорода.

Непрерывно улучшаются аэродинамические формы легковых автомобилей, так как топливная экономичность автомобиля напрямую зависит от этого показателя. Большое значение для снижения расхода топлива также имеет уменьшение энергетических потерь в шинах.

Значительная доля расхода топлива приходится на массу автомобиля, большую часть которой, в свою очередь, составляет масса кузова. Поэтому снижение массы кузова неизменно приводит к улучшению топливной экономичности.

Уменьшение массы на 100 килограммов означает снижение расхода топлива примерно на 0,5 литров на 100 километров и сокращение выбросов CO₂ от 7,5 до 12,5 граммов на один километр.

Снижение массы одно из основных направлений совершенствования кузова. При этом используют два пути:

- использования легких конструкционных материалов (алюминий, пластмассы, композиционные материалы, магниевые сплавы);
- экономия материалов.

Эти пути реализовываются посредством уменьшения толщины листовых панелей, экономии материалов и смешенного использования в одном кузове различных материалов.

1.2. Новые материалы для автомобильных кузовов

Автомобилестроение является одним из крупнейших потребителей конструкционных материалов.

Понижение массы автомобиля — задача сложная и затратная, так как связана с необходимостью внедрения новых, более легких, но довольно прочных материалов, которые обычно стоят в разы дороже.

При уменьшении массы через применение новых подходов кроме дальнейшего развития техники и технологии производства важную роль играет комбинация оптимальных свойств материалов. Среди основных конкурирующих между собой материалов в автомобилестроении необходимо назвать стали, пластмассы, композиционные материалы, сплавы на основе алюминия и магния.

Подавляющее большинство кузовов современных автомобилей изготавливаются из тонколистовой низкоуглеродистой или низколегированной стали толщиной от 0,6 до 3 мм. И в ближайшем будущем эта тенденция сохранится. Они уступают легким материалам по удельному весу, но при этом более дешевы и в полной мере соответствуют требованиям прочности, надежности и безопасности.

В настоящее время в конструкции кузова появились высокопрочные стали, способные выдерживать высокие нагрузки. Благодаря этому появилась возможность изготавливать кузовные панели более тонкими, что приводит к

экономии массы. В некоторых конструкциях кузовов ее количество достигает 50 %.

1.2.1 Алюминий и алюминиевые сплавы

На сегодняшний день алюминий и его сплавы занимают лидирующие позиции в списке «новых» материалов. Инженеры автоконцерна Audi, начиная с 1994 года (модель A8), снабжают свои модели алюминиевым кузовом, который позволил сэкономить 239 кг и снизить расход дизельного топлива до 5,3 л. Такого результата удалось добиться благодаря созданию несущего кузова ASF (Audi Space Frame) (рисунок 1). В его конструкции удачно сочетаются, пресованные профили, детали, отлитые под давлением и тонкостенные алюминиевые панели.

Главное преимущество алюминия является его малая плотность, хорошая коррозионная стойкость и демпфирующие свойства. Из недостатков стоит отметить высокую стоимость, а также неудовлетворительную свариваемость контактной сваркой.



Рисунок 1 – Самонесущий кузов Audi Space Frame

Известно, что каждый килограмм алюминия, используемый в конструкции автомобиля, позволяет снизить его массу на один килограмм.

1.2.2. Пластики (пластмассы) и композиционные материалы

Альтернативой алюминию являются пластики, при этом также обеспечивая снижение массы кузова. Эти материалы не подвержены коррозии, но являются трудными для переработки. Чистые пластики не способны нести нагрузки, поэтому используются для внешних декоративных деталей кузова, крылья, крышка багажника и т.д. При этом пластмасса повсеместно применяется в формованных бамперах, в которых сопротивление незначительному разрушению при ударе является чрезвычайно ценным [1].

Наибольшее применение в автомобилестроении находят композиционные материалы, состоящие из двух или более компонентов, соединенных между собой. Эти материалы получают соединением слоев различных материалов, спеканием частиц или армированием одного материала волокнами другого [1].

Популярными в автомобилестроении композиционными материалами являются углепластики (карбон), и стеклопластики, представляющие собой соединение эпоксидных смол с углеволокном и стекловолокном, соответственно.

Углепластик прочен, легче, чем сталь или алюминий, и его часто используют в деталях, улучшающих аэродинамические свойства автомобиля. Но карбон дорог в производстве и отнимает больше времени при изготовлении деталей. Он в основном применяется в дорогих спорткарах и гоночных автомобилях. У них есть еще один недостаток, заключающийся в непредсказуемости поведения при аварии, что влечет за собой большую угрозу безопасности пассажиров. Совсем недавно появилась модель BMW 7-серии G-12 (рисунок 2), в которой карбоновые детали присутствуют в разных усилителях, стойках крыши, боковинах кузова и пр., в сочетании со основными материалами

сталью и алюминием. Их соединение осуществляется с помощью клея и заклепок.

Стеклопластики были первыми композитами в конструкции кузова автомобиля. Стекловолокно обеспечивает механическую прочность конструкции, а смола придает и поддерживает заданную форму.

Стекловолокно наиболее часто используемый «каркас» в композиционных материалах, так как является дешевым, качественным и жестким.



Рисунок 2 – Кузов BMW 7-серии G-12, построенный по принципу «Карбоновое ядро»

Сегодня с внедрением новых технологий производства и расширение номенклатуры новых материалов, алюминий, пластик и композиты будут выходить в массовое производство все быстрее и быстрее. Но возникают новые проблемы, повышение топливной экономичности путём снижения веса угрожает снижением уровня безопасности. Лёгкие материалы также стоят дороже, поэтому важно медленное и планомерное снижение массы автомобиля, но несмотря на сложности, связанные с работой с лёгкими материалами, работы в этом направлении продолжают.

1.3 Магниевые сплавы в автомобилестроении

Впервые магний стал использоваться в автомобиле Фольксваген Жук в качестве отливок картера двигателя и картера трансмиссии общим весом 17 кг [9]. Но вследствие резкого подорожания магния в 80-ые годы по сравнению с алюминием и прекращения выпуска двигателей с воздушным охлаждением значение магния как конструкционного материала уменьшилось.

В настоящее время применение магниевых сплавов в автомобиле составляет примерно 0,3% от общего веса транспортного средства; тем не менее, предполагается, что к 2025 году использование магниевых сплавов в транспортных средствах увеличится до 12,2% от общего веса, в основном, в ущерб стали, железа, алюминия, как показано на рисунке 3 [14].

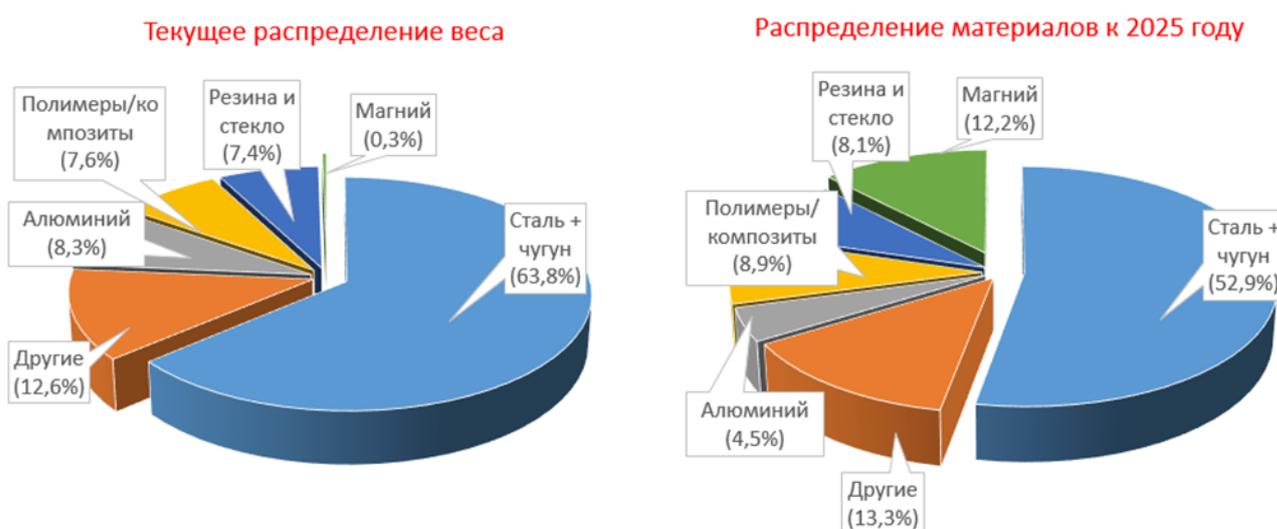


Рисунок 3 – Текущее и предполагаемое распределение веса в автомобиле

При необходимой прочности деталь из магниевого сплава может быть на 33 процента легче такой же алюминиевой, на 60 процентов легче титановой и на 75 процентов легче стальной. Однако до сих пор применение магния в автомобилях было очень скромным и ограничивалось, главным образом, невеликими по размеру литыми деталями типа кронштейнов, крышек отдельных агрегатов под капотом и втулок (рисунок 4) [21].

По оценкам экспертов вес транспортного средства с использованием магниевых сплавов может быть снижен на 135 кг. А это, в свою очередь, способствует снижению расхода горючего на 12 %.

Преимущества при использовании магниевых сплавов [16]:

- снижение веса автомобиля;
- экономия топлива и снижение эмиссии вредных веществ;
- улучшение ходовых качеств;
- минимизация стуков и скрипов
- хорошие демпфирующие свойства и сопротивление ударным нагрузкам;
- отличная обрабатываемость резанием;
- высокая удельная прочность;
- защитная электромагнитная способность;
- способность к рециклингу.

Недостатки:

- высокая производственная стоимость;
- недостаточно высокая пластичность при комнатной температуре;
- относительно низкая коррозионная стойкость.

Основной причиной низкого использования листовых магниевых сплавов является то, что они обладают плохой формуемостью при комнатной температуре. Однако, их пластичность значительно возрастает при температурах выше 200°C. Поэтому они могут быть штампованы, но повышенная температура процесса штамповки увеличивает производственную себестоимость.

Было предпринято несколько попыток использовать магниевый лист в конструкции кузова транспортного средства, как например сверхлегкий прототип магниевого кузова, разработанный Аллард в 1952 году с общим весом всего лишь 64 кг [8].

Среди деталей из магниевых сплавов, применяемых в современных легковых машинах, можно назвать диски колес, картеры двигателя и коробки передач, корпуса масляных насосов, рулевое колесо, детали сидений, кронштейны, стойки.



Рисунок 4 – Использование магния в автомобиле

2. Деформируемые магниевые сплавы

В последние годы, к магниевым сплавам приковано большое внимание в электронной связи, транспортной, аэрокосмической промышленности, в связи с их превосходными физико-механическими свойствами, такими как низкая плотность, высокая удельная прочность и удельная жесткость, сильное электромагнитное экранирование, хорошая теплопроводность и способность к рециклингу. В настоящее время, подавляющее большинство продуктов конструкционных магниевых сплавов по-прежнему изготавливают путем литья под давлением. Но литейные сплавы обладают низкой механической прочностью из-за наличия дефектов литья, таких как включения, междендритные усадочные раковины и пористость. В противоположность этому, деформируемые магниевые сплавы имеют более высокую прочность, лучшую пластичность и более разнообразные механические свойства в результате улучшения контроля микроструктуры и оптимизации температуры обработки, а также имеют более широкую перспективу рыночного развития.

Среди всех элементов, магний (Mg) считается четвертым по распространенности элементом на Земле, после железа, кислорода и кремния. Несмотря на значительную доступность, магний имеет ограниченное применение в промышленности. Как показано на рисунке 3, магний в основном используется в качестве легирующего компонента в алюминиевых сплавах, 30 % используется для литья под давлением, и только 1 % используется для деформированных изделий, таких как листовой прокат, сплавы для прессования иковки (рисунок 5).

Из-за слишком низкой механической прочности, чистый магний должен быть легирован другими элементами, которые придают ему улучшенные свойства. Группа магниевых сплавов Mg-Al-Zn содержит алюминий, марганец и цинк. Это наиболее распространенные легирующие элементы для применения при комнатной температуре.

По технологии изготовления деталей и узлов магниевые сплавы делятся на две категории: литейные и деформируемые. К каждой из них относятся сплавы высокопрочные, жаропрочные, повышенной коррозионной стойкости и др. [2].

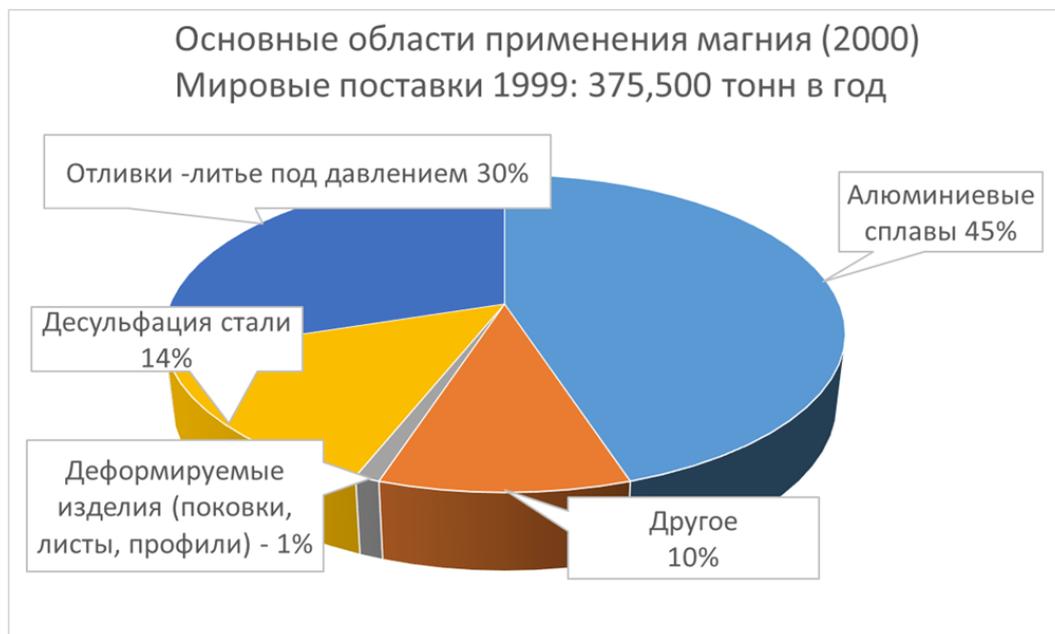


Рисунок 5 – Основные области применения магния

Из деформируемых магниевых сплавов получают разнообразный полуфабрикат в виде: прессованных профилей, кованных и штампованных поковок, листов и плит.

2.1 Производство листов

Традиционное производство листового материала используется очень давно.

Привычная технология листового производства состоит из следующих стадий [15]:

- Литье слябов;
- Гомогенизирующий отжиг;
- Механическая поверхностная обработка (шлифование);

- Многоэтапная прокатка с обрезанием боковой кромки и промежуточным отжигом (рисунок 6)
- Конечная термическая обработка.

Главными проблемами при производстве магниевых листов являются то, что обработка давлением материалов с гексагональной кристаллической структурой представляет собой трудоемкий процесс, требующий наличия специализированного оборудования и строгого соблюдения температурных интервалов обработки. Еще одной проблемой является некачественное состояние литой структуры, выражающееся наличием пор, пустот, недеформируемых включений, которые заметно снижают способность к деформации. Формуемость можно повысить путем последующего гомогенизационного отжига, а улучшить качество литья позволяет осуществление высоких скоростей охлаждения.

Обычным процессом для производства листа является прокатка. В начале практики прокатки магния прокатывались только прессованные слябы. Считалось, что прессованный сляб обладает более однородной микроструктурой и, следовательно, лучшими свойствами прокатки. Метод устранения до прокатки литой структуры путемковки на прессе также развивается применительно к производству листового проката.

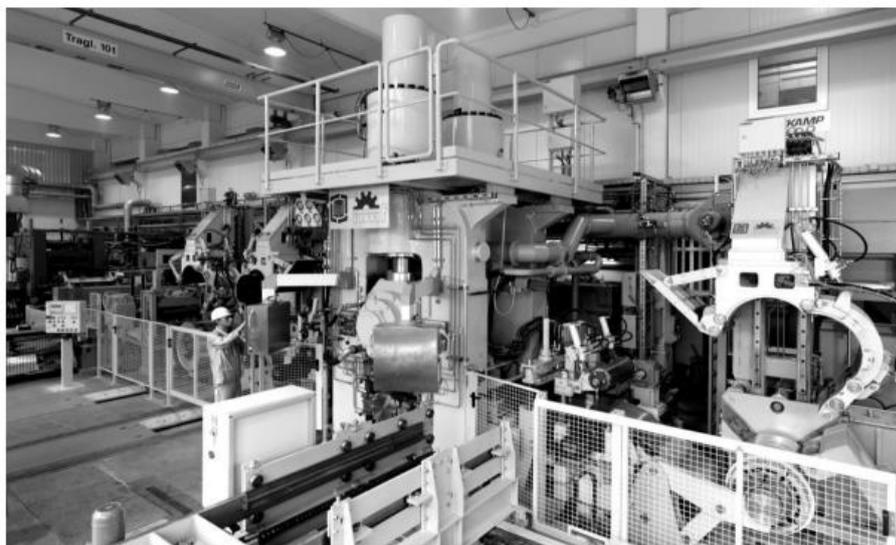


Рисунок 6 - Прокатка магниевых полос

Этот метод не дает никаких преимуществ перед прессованием, но является полезной альтернативой. Магниевый лист может быть также получен непосредственно из литых слябов в зависимости от сплава, степени восстановления и конечного применения листа.

Магниевые листы традиционно изготавливают из магниевых профилей, а именно предварительно обработанных литых слябов. В целях ликвидации литой структуры, предварительная обработка, как правило, осуществляется с помощью термической обработки и горячей деформации, а именно горячей прокаткой. В лабораториях, литые слитки обычно предварительно обрабатывают горячим прессованием, где могут быть применены большие сжимающие деформации. На данный момент подходящий для производства листового проката магниевый сплав AZ31B. Как правило, сплав отливают в форме сляба и предварительно обрабатывают в блочный сляб на обжимном прокатном стане. Единственный недостаток заключается в том, что поверхность сляба окисляется при высокой температуре. Во время прокатки, оксидная пленка может быть вкатана в листовую металл и ухудшить качество листа. Даже при том, что оксидная пленка может быть удалена с помощью химического или механического разрушения, эти процессы приводят к образованию впадин, т.е. грубых неровных и загрязненных поверхностей по толщине от 10 до 15 мм, которые должны быть устранены. Богатая примесями, плотной оксидной пленкой и включениями, частицами вторичных фаз, микроскопическими и макроскопическими дефектами, например, порами, поверхность увеличивают восприимчивость листа к образованию трещин при дальнейшей деформации.

Во избежание макроликвации легирующих элементов, деформируемые магниевые сплавы предпочтительно отливать на машинах с прямым охлаждением. Несмотря на высокоскоростную кристаллизацию расплавленного металла в узкой ванне, средний размер зерен литой заготовки остается велик, и зависит от диаметра заготовки и параметров литья. В некоторых случаях, литую заготовку на начальном этапе приходится подвергать горячей деформации, во избежание эффекта охрупчивания крупных зерен и улучшения

обрабатываемости в горячем состоянии. Магниевого сляба имеет следующие размеры: 300 мм шириной, 1 м в поперечном сечении и длиной 2 м. Сляб обычно вначале гомогенизируют, для AZ31 как правило при 480°C, в течении нескольких часов и подвергают горячей прокатке на реверсивном стане горячей прокатки толщиной до 5-6 мм. Горячей прокаткой обычно производится около 60 метров в минуту. При первых проходах прокатки, допустимое обжатие за один проход ограничивается до 5-10% крупнозернистой структуры литого сырья, которое вызывает образование трещин. Лишь после рекристаллизации и измельчения зерна, деформация за один проход может быть увеличена до 30-60%. Время контакта между слябом и валками обжимного прокатного стана весьма коротко, и эти валки редко предварительно нагреты. Валки часто смазываются в заключительных проходах. Тем не менее, лучшая смазка, используемая в настоящее время не способна полностью решить одну из проблем горячей прокатки магния, а именно, захватные валки к которым прилипают оксид магния и металл. По мере продолжения прокатки, этот так называемый захватный валок может повторно обработать лист, вынуждая к тщательной очистке на более поздних стадиях. После разделения, сляб повторно нагревают до 315-370°C и прокатывают в плоской или спиральной чистовой клетки до конечной толщины. До начала холодной прокатки, горячекатаный лист как правило, подвергают отжигу при температуре около 370°C, чтобы обеспечить полное разупрочнение. Холодная прокатка затем осуществляется со скоростью от 30 до 120 метров в минуту. Для прокатки от 2 мм или около этого до более тонких калибров, процесс состоит из серий операций холодной прокатки с промежуточными процедурами отжига. Величина обжатия за один проход изменяется от 1 до 5% и иногда достигает 10% для тонких калибров. Эта последняя часть процесса прокатки занимает много времени с высокими производственными затратами и все больше имеет склонность к снижению выхода годного металла [17].

2.2 Магниевого деформируемый сплав AZ31В

Среди коммерчески доступных магниевых сплавов, используемых при производстве листового материала, AZ31В является самым распространенным. Это сплав системы Mg-Al-Mn-Zn, его массовая плотность составляет порядка 1780 кг/м³, коэффициент Пуассона равен 0,35. Химический состав данного сплава представлен в таблице 1. По американскому стандарту ASTM данное обозначение сплава AZ31В расшифровывается следующим образом: первые две буквы – два основных легирующих элемента сплава, т.е. А-алюминий, Z-цинк; следующие две цифры обозначают содержание алюминия (3%) и цинка (1%); буква В показывает, что этот сплав средней степени чистоты. Данный сплав относится к сплавам средней прочности, свариваемый, хорошо формуемый. Из него получают листы, прессованные детали, поковки [18].

Таблица 1 – Химический состав сплава AZ31В, %

| Al | Zn | Mn | Ca | Cu | Fe | Ni | Si | Всего | Mg |
|---------|---------|----------|------|------|-------|-------|------|-------|---------|
| 2,5-3,5 | 0,6-1,4 | 0,20-1,0 | 0,04 | 0,05 | 0,005 | 0,005 | 0,10 | 0,30 | Остаток |

2.3 Поведение магниевых сплавов при пластической деформации

Магниевого сплавы имеют гексагональную плотноупакованную (ГПУ) кристаллическую структуру с соотношением с/а примерно равным 1,62.

Пластичность ГПУ-металла зависит от числа вовлеченных в деформацию систем скольжения: если систем вовлечено мало – материал трудно деформируется (он хрупкий); а если достаточно – ГПУ-металл по пластичности не уступает ГЦК-металлам. Когда поликристаллический материал деформируется гомогенно, в каждом из зерен возникают внутренние напряжения: в каких-то зернах вдоль направления «с» действуют напряжения растяжения, в то время как в других зернах вдоль оси «с» действуют напряжения сжатия. Металлы, в деформацию которых вовлечено несколько систем

скольжения и двойникования (образуются как двойники «растяжения», так и двойники «сжатия»), обычно имеют высокую пластичность. Исходя из условия Тэйлора и Мизеса для того, чтобы поликристаллический объект испытывал гомогенную пластическую деформацию без образования трещин, в нем должно быть не менее пяти систем скольжения [13].

Все ГПУ-металлы характеризуются легким скольжением вдоль направлений, лежащих в базисной плоскости, и трудным скольжением вдоль оси «с». Только пирамидальное скольжение с вектором Бюргерса $\langle c+a \rangle$ и двойникование вносят вклад в деформацию кристаллов в направлении с. (рисунок 7).

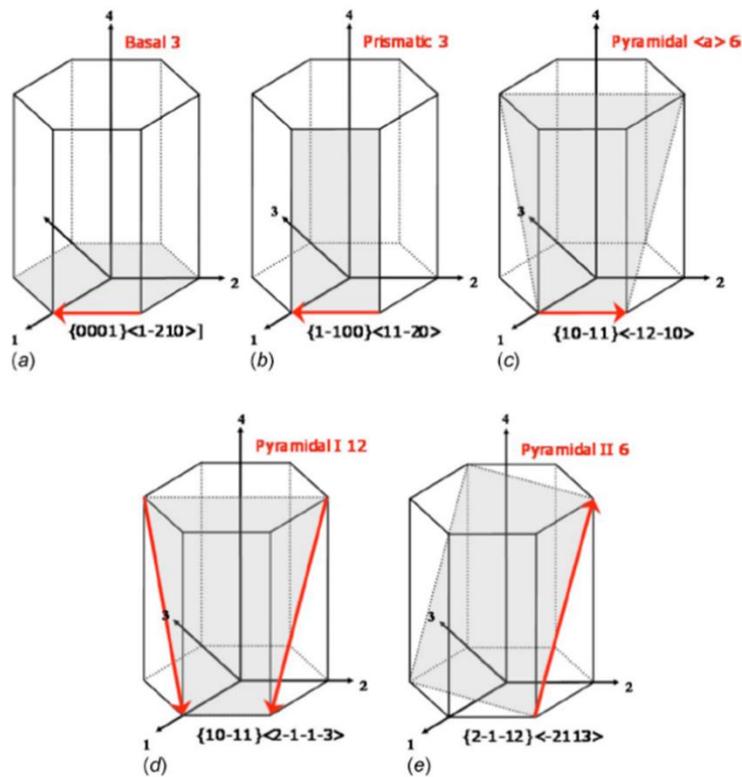


Рисунок 7 – Основные системы скольжения в ГПУ-металлах

При комнатной температуре деформация Mg ($c/a=1,62$) и сплавов на его основе происходит путем скольжения: базисного $\{0001\} \langle 1120 \rangle$, призматического $\{1010\} \langle 1120 \rangle$ и пирамидального $\{1011\} \langle 1120 \rangle$, а также путем двойникования $\{1012\} \langle 1011 \rangle$ [17]. При этом в Mg,

имеющем отношение c/a , близкое к идеальному значению, первичным и явно доминирующим является базисное скольжение [12].

В металлах с ГПУ-решеткой, близкой к идеальной ($\gamma=c/a \approx 1,633$ - Mg), преимущественно действующее базисное скольжение приводит к тому, что плоскости (0001) выстраиваются параллельно плоскости прокатки (рисунок 8).

Двойникование происходит легко, когда сжимающие напряжения действуют параллельно базисной плоскости, поэтому магниевые сплавы, как правило характеризуются более низкими значениями продольного условного предела текучести при сжатии (на 15-40%), чем при растяжении (рисунок 9) [19].

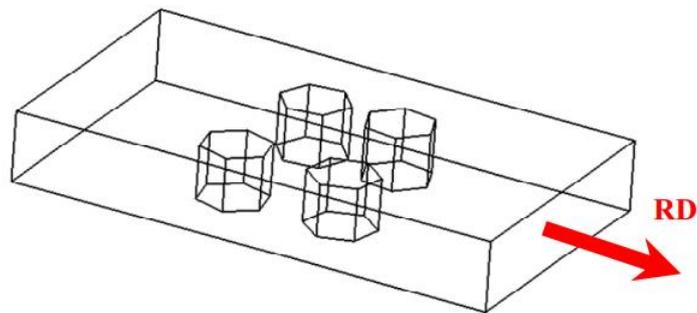


Рисунок 8 - Текстура деформации в направлении прокатки

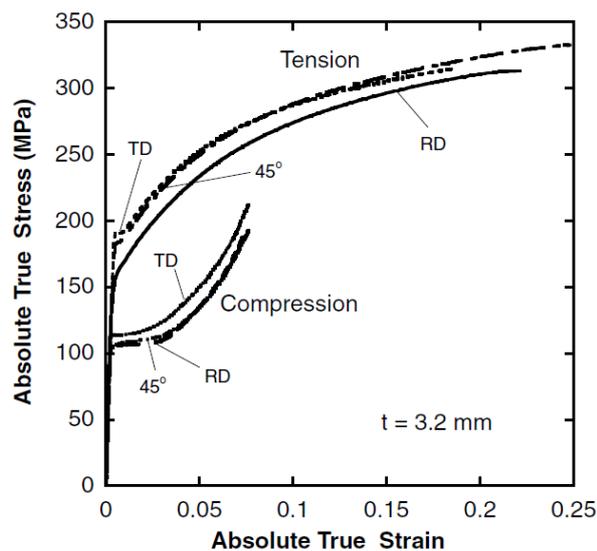


Рисунок 9 - Сравнение кривых растяжения и сжатия магниевого сплава AZ31В-

3. Анализ механических и технологических свойств магниевых сплавов

Главное требование к материалам - это пригодность к штамповке и дальнейшей эксплуатации. Основной характеристикой пригодности материала является штампуемость. Штампуемость – способность материала к пластической обработке до требуемой степени деформации без разрывов, трещин и прочих дефектов [3]. Штампуемость материала является обобщенным понятием, так как зависит от химического состава, структуры, напряженно-деформированного состояния и технологических условий вытяжки материала. В связи с этим оценка штампуемости требует проведения ряда испытаний, основными из которых являются [4]:

- 1) общие – наружный осмотр и контроль формы, размеров и состояния поверхности листа в соответствии с требованиями стандартов;
- 2) химические – определение химического состава и сопротивляемости коррозии;
- 3) металлографические – анализ макро- и микроструктуры;
- 4) механические – определение показателей пластичности, прочностных и других характеристик механических свойств;
- 5) технологические – проверка способности материала к пластической деформации.

Именно в ходе технологических и механических испытаний устанавливаются основные числовые показатели, определяющие возможность штамповки.

3.1 Механические испытания на растяжение

Наилучшие результаты в определении механических свойств материала дает испытание на растяжение. С их помощью определяются прочностные

характеристики (предел текучести σ_T , предел прочности σ_B), показатели пластичности (относительное сужение ψ и относительное удлинение δ , коэффициент анизотропии R) и другие показатели. По результатам испытаний образцов на растяжение получают экспериментальные зависимости интенсивности напряжений от интенсивности деформаций. Эту зависимость отражает диаграмма условных, а наиболее точно истинных напряжений (кривые упрочнения) (рисунок 10). Параметры полученных кривых упрочнения представляют собой критерии штампуемости материала.

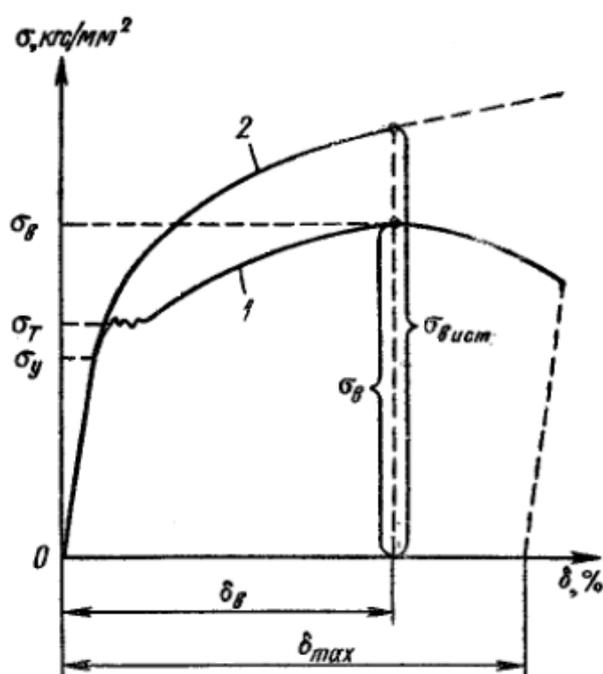


Рисунок 10 - Диаграмма условных 1 и истинных 2 напряжений

В расчетах параметров штампуемости используют различные аналитические аппроксимации кривых упрочнения [3].

Степенная аппроксимация Свифта, выражающаяся формулой (1):

$$\sigma_s = C \cdot \varepsilon^n \quad (1)$$

где C – постоянная величина данного материала;

n – показатель деформационного упрочнения;

ε - величина деформации любого вида.

Линейная аппроксимация П.Людвига, выражающаяся формулой (2):

$$\sigma_s = \sigma_{T_0} + P \cdot \varepsilon \quad (2)$$

где σ_{T_0} - экстраполированный предел текучести;

P - модуль упрочнения.

Основными оценочными показателями штампуемости является коэффициент нормальной анизотропии R и показатель деформационного упрочнения n , определяемыми при испытании на растяжение.

Под анизотропией понимается различие механических свойств листового металла в различные направления прокатки. Коэффициент нормальной анизотропии представляет отношение логарифмической деформации по ширине ε_B к деформации по толщине образца ε_S в выбранном направлении прокатки на участке равномерной деформации (3) [4]:

$$R = \varepsilon_B / \varepsilon_S = \ln(b_d / b) \ln(s_d / s) \quad (3)$$

Показатель деформационного упрочнения n в соответствии с формулой 4 равен:

$$n = \varepsilon_p = \ln(l_p / l_0) \quad (4)$$

Показатель деформационного упрочнения равен тангенсу угла наклона кривой упрочнения, аппроксимированной прямой линией в логарифмических координатах [3].

Для листовой стали хорошая штампуемость наблюдается при $R \geq 1,2 \div 1,7$ и $n \geq 0,2$ [3].

В ходе испытания на разрывных машинах растягивают плоские образцы. Форма образцов и методика проведения испытаний регламентируются ГОСТ-11701-84. Форма и размеры образца представлены на рисунке 11.

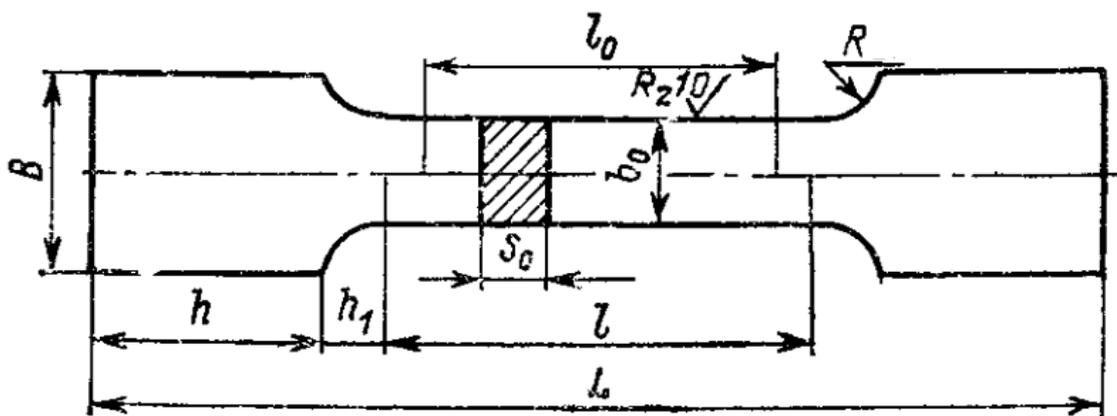


Рисунок 11 - Плоский образец для испытания на растяжение

Расчетная длина образца l_0 стандартна и определяется (при 10-кратном) образце по формуле (5):

$$l_{0,10} = 11,3 \cdot \sqrt{F_0} \quad (5)$$

где F_0 - площадь поперечного сечения образца;

При 5-кратном образце по формуле (6):

$$l_{0,5} = 5,65 \cdot \sqrt{F_0} \quad (6)$$

3.2 Проведение механического испытания на растяжение

3.2.1 Оборудование

Эксперимент по растяжению образцов в условиях квазистатического нагружения производился на серво-гидравлической разрывной машине INSTRON 1331. Тензодатчик, используемый в ней имеет предельную нагрузку 25 кН. Перемещение было измерено с помощью экстензометра изготовленного INSTRON. Образцы устанавливались в пару захватов. Экспериментальная установка изображена на рисунке 12. Эта установка была смонтирована в INSTRON с использованием клиновых захватов для выравнивания образца по отношению к оси нагружения аппарата, что уменьшает вероятность возникновения изгибающей нагрузки, приложенной к образцу [8].

Скорость перемещения траверсы была установлена на 0,375 мм/с, с целью получения номинальной скорости деформации $0,003 \text{ с}^{-1}$ [8].

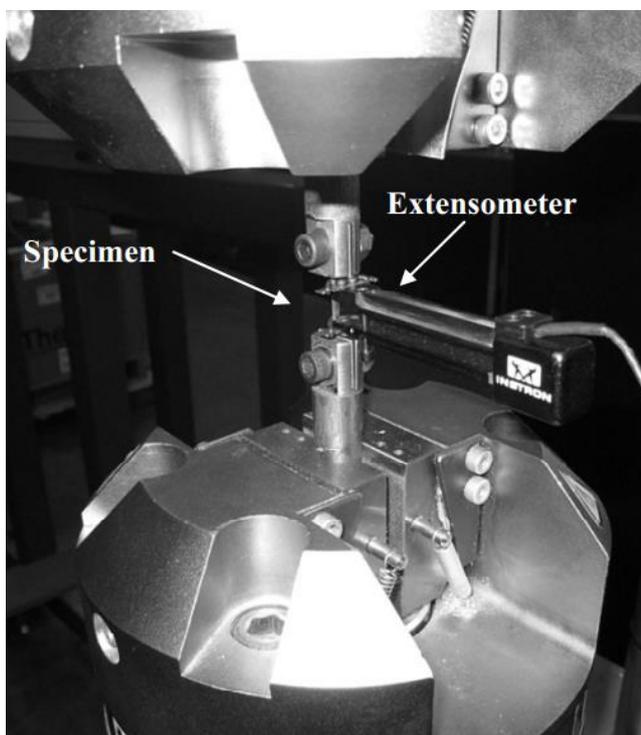


Рисунок 12 - Квазистатическая экспериментальная установка

3.2.2 Испытываемые образцы

В условиях комнатной температуры проводилось два испытания на растяжение: в одном испытании образец растягивался вдоль направления прокатки, а в другом – поперек направления прокатки.

Форма и размеры двух испытываемых образцов одинаковы и представлены на рисунке 13 в соответствии с ГОСТ 11701-84 для данной толщины материала [8].

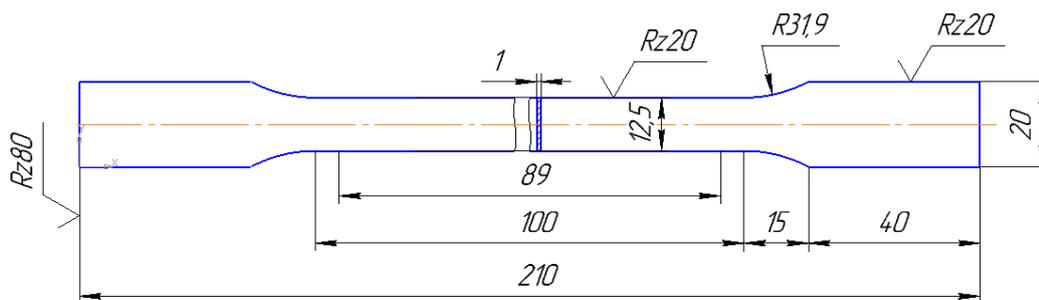


Рисунок 13 - Плоский образец для испытания на растяжение

В качестве материала использовался горячекатаный и полностью отожженный магниевый лист AZ31B-O толщиной 1 мм, обладающий наилучшими пластическими свойствами.

3.2.3 Процедура обработки исходных данных

Встроенное программное обеспечение разрывной машины INSTRON регистрирует нагрузку и перемещение от экстензометра. Для заданной геометрии образца оно автоматически преобразует нагрузку и перемещение в условное напряжение и условную деформацию, следовательно, графически определяется условный модуль Юнга, предел текучести и предел прочности при растяжении.

Исходя из измеренных условных напряжений σ и условных деформаций ε были подсчитаны истинные напряжения и деформации, формула (7):

$$\begin{cases} \varepsilon_{\text{ист}} = \ln(1 + \varepsilon) \\ \sigma_{\text{ист}} = \sigma(1 + \varepsilon) \end{cases} \quad (7)$$

Это уравнение основано на предположении постоянства объема в рабочей длине образца и действует до начала утонения.

Пластическую деформация затем находится путем вычитания упругого компонента деформации от истинной деформации по формуле (8):

$$\varepsilon_p = \varepsilon_T - \frac{\sigma_T}{E}, \quad (8)$$

где E – модуль Юнга материала.

Модуль Юнга вычисляется условно из формулы (8) и при низкой скорости деформации изменяется с 35 ГПа до 43 ГПа, что очень близко к значению 45 ГПа, определенного для AZ31B.

Упругая часть диаграммы не представляет интереса для исследования, так как деформация происходит с непостоянной скоростью, даже при низкой скоростью деформации [8].

Подсчет напряжения текучести происходит только на участке равномерной деформации при постоянной скорости деформации, т.е. до предела текучести.

3.2.4 Обработка данных эксперимента

Скорость деформации в ходе эксперимента определяется скоростью движения траверсы машины, а деформация измеряется экстензометром, чтобы избежать каких-либо измерений упругой деформации за пределами длины датчика образца. Все различные конститутивные расчеты и кривые были выполнены с использованием фактической скорости деформации [8].

В результате эксперимента были получены машинные диаграммы нагружения для сплава AZ31B-O, при растяжении вдоль направления прокатки (рисунок 14) и поперек (рисунок 15).

Рассчитанные значения точек кривых истинных напряжений при растяжении вдоль направления и поперек направления прокатки заданы в таблице 2. На рисунках 16 и 17, показаны рассчитанные диаграммы истинных напряжений сплава AZ31B-O вдоль и поперек направления прокатки, соответственно.

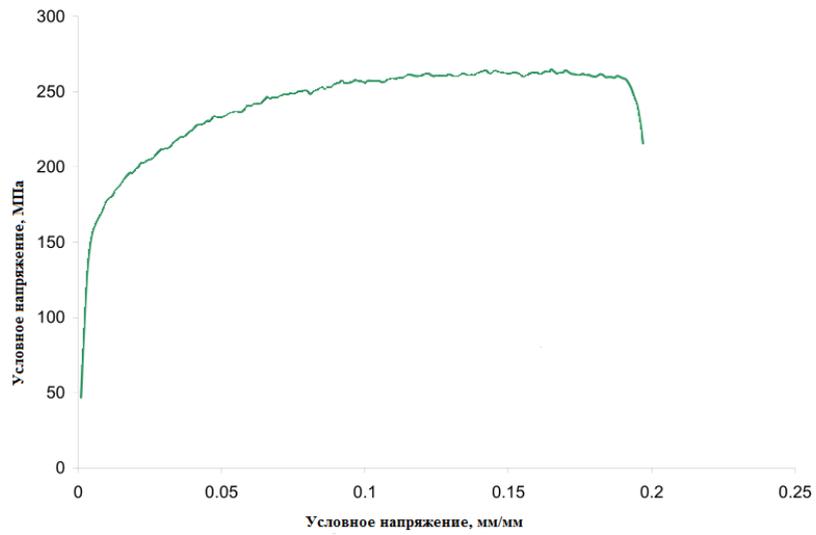


Рисунок 14 - Диаграмма условных напряжений для сплава AZ31B-O вдоль направления прокатки

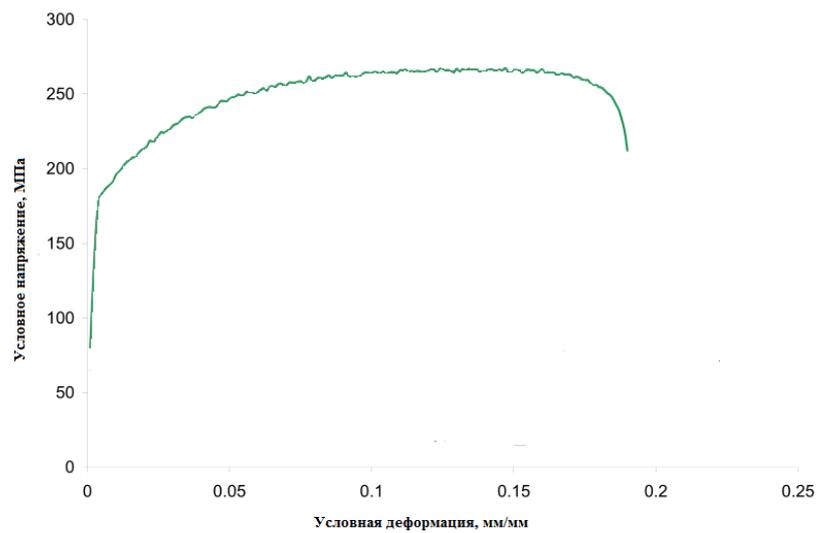


Рисунок 15 – Диаграмма условных напряжений для сплава AZ31B-O поперек направления прокатки

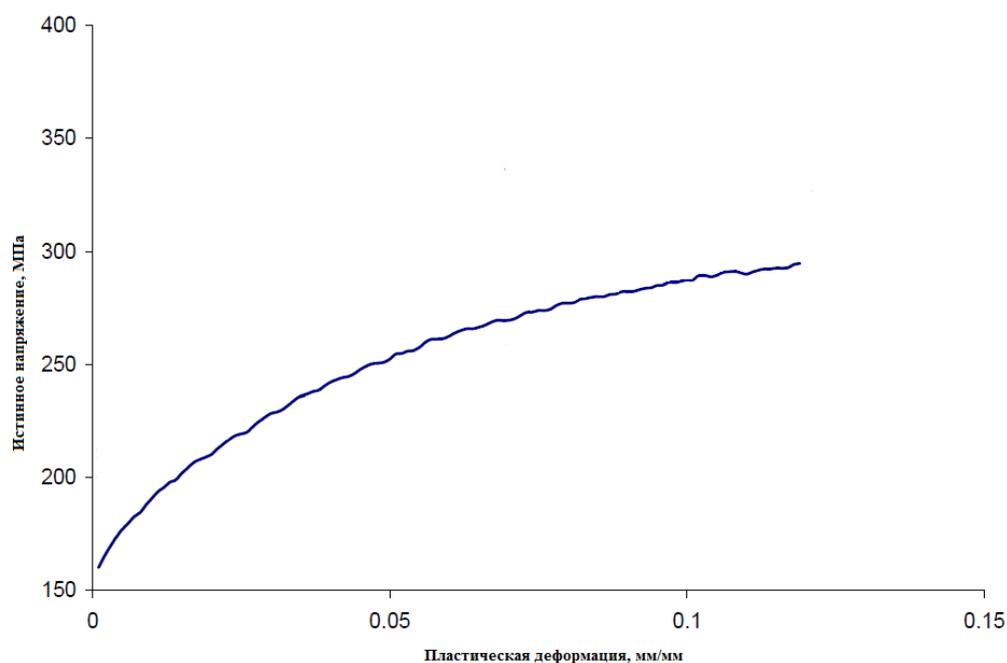


Рисунок 16 - Кривая упрочнения для сплава AZ31B-O вдоль направления прокатки

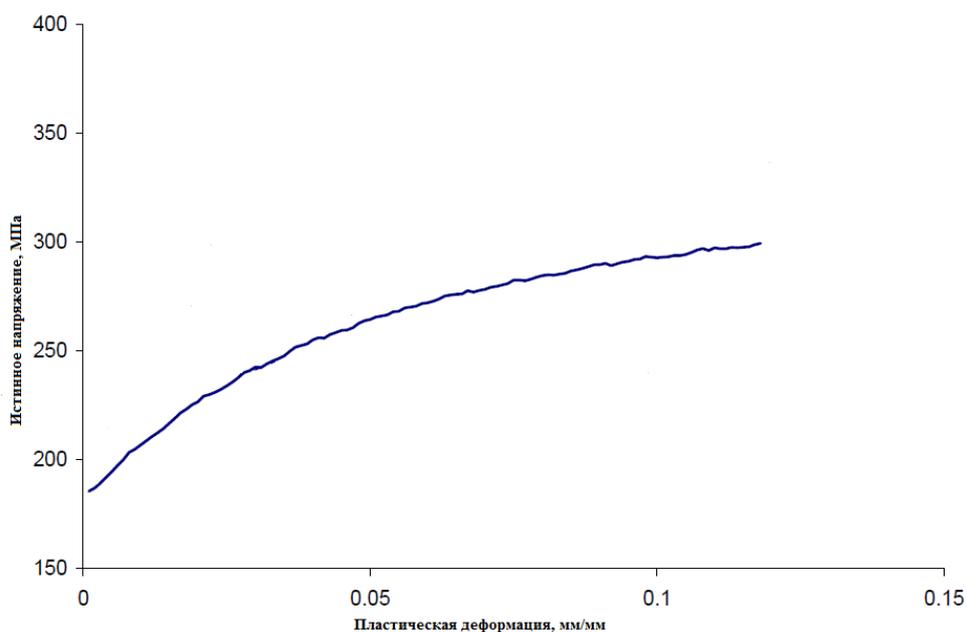


Рисунок 17 - Кривая упрочнения для сплава AZ31B-O поперек направления прокатки

При сравнении двух кривых упрочнения, можно увидеть, что при растяжении поперек направления прокати напряжение текучести выше, в

отличии от растяжения вдоль прокатки (185,80 МПа против 159,88 МПа, соответственно). Величина равномерной деформации и предела прочности для двух образцов одинакова.

Уравнения для кривых упрочнения и основные штамповочные показатели получаются посредством аппроксимации полученных кривых в Autoform с помощью функционала «Генерация материала» (рисунок 18) и (рисунок 19). Созданные материалы сохраняются в файлы с расширением mat и в дальнейшем при расчетах могут быть с легкостью загружены.

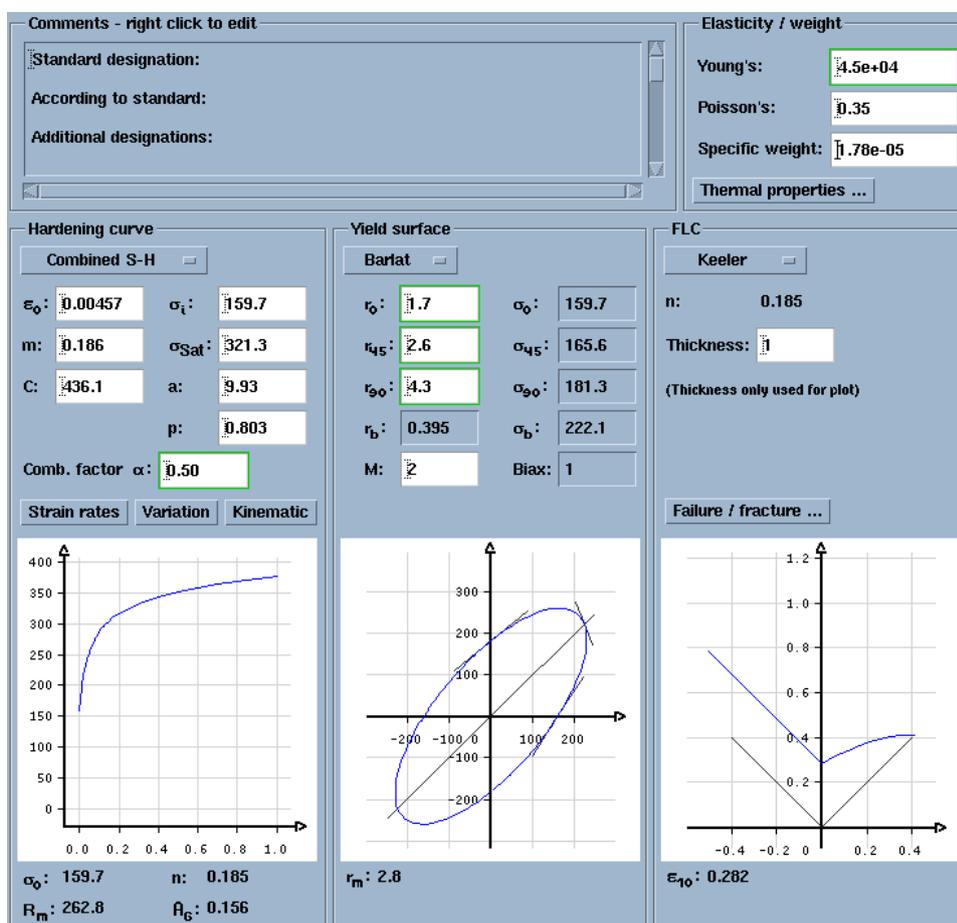


Рисунок 18 - Окно создания материала AZ31В-О, вдоль направления прокатки

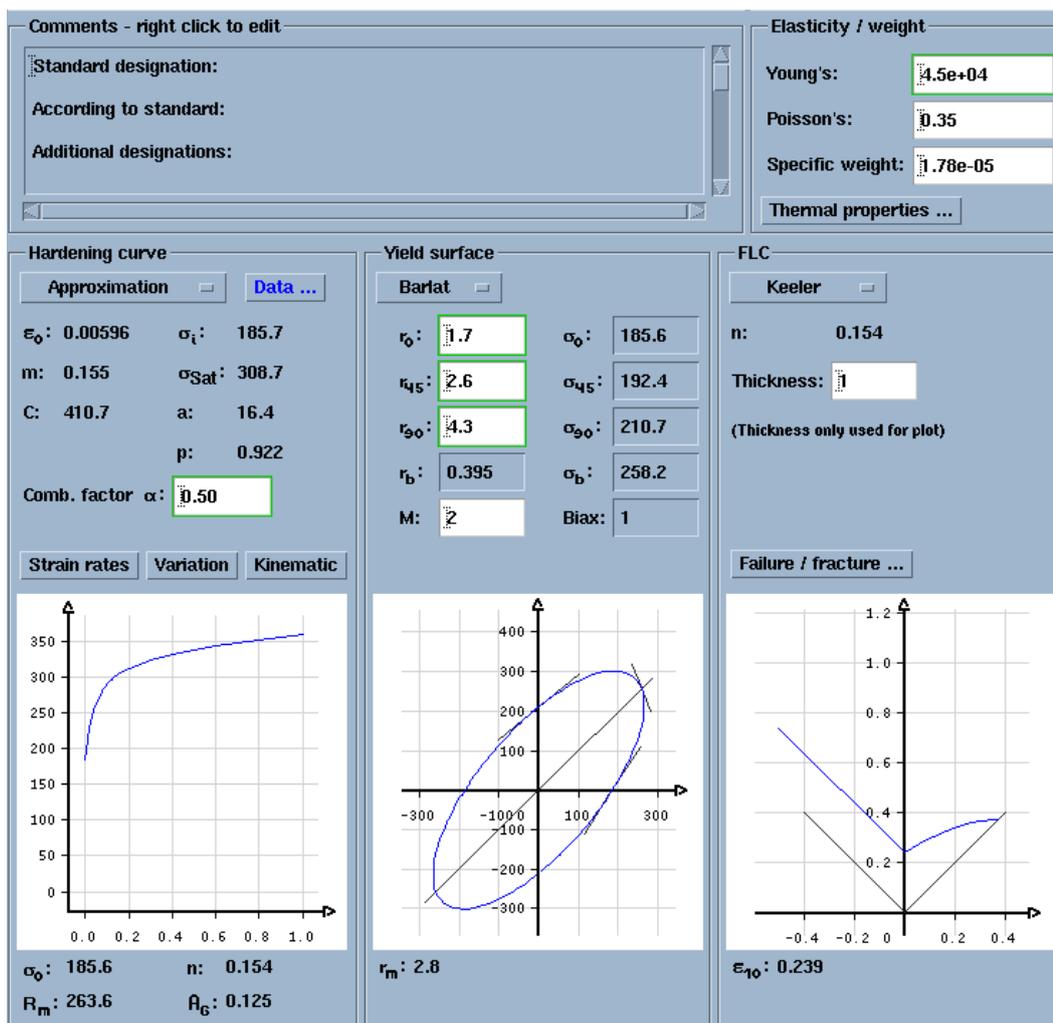


Рисунок 19 - Окно создания материала AZ31B-O, поперек направления прокатки

Полученные экспериментальные данные были учтены при численном моделировании методом конечных элементов, с использованием пяти моделей материалов, представленных в LS-DYNA.

Таблица 2 – Точки, задающие кривые упрочнения сплава AZ31В-О

| № | 0° | | 90° | |
|----|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| | ε_s , мм/мм | σ_s , МПа | ε_s , мм/мм | σ_s , МПа |
| 1 | 0,00095 | 159,88 | 0,00095 | 185,80 |
| 2 | 0,005 | 177,16 | 0,005 | 196,30 |
| 3 | 0,01 | 190,74 | 0,01 | 206,79 |
| 4 | 0,015 | 201,85 | 0,015 | 216,67 |
| 5 | 0,02 | 211,11 | 0,02 | 227,16 |
| 6 | 0,025 | 219,75 | 0,025 | 235,19 |
| 7 | 0,03 | 229,01 | 0,03 | 241,36 |
| 8 | 0,035 | 236,42 | 0,035 | 248,15 |
| 9 | 0,04 | 242,59 | 0,04 | 253,70 |
| 10 | 0,045 | 247,53 | 0,045 | 258,64 |
| 11 | 0,05 | 252,47 | 0,05 | 262,96 |
| 12 | 0,055 | 258,64 | 0,055 | 268,52 |
| 13 | 0,06 | 262,35 | 0,06 | 270,37 |
| 14 | 0,065 | 267,28 | 0,065 | 275,31 |
| 15 | 0,07 | 269,75 | 0,07 | 275,93 |
| 16 | 0,075 | 274,69 | 0,075 | 280,86 |
| 17 | 0,08 | 275,93 | 0,08 | 282,10 |
| 18 | 0,085 | 280,86 | 0,085 | 285,19 |
| 19 | 0,09 | 282,10 | 0,09 | 287,04 |
| 20 | 0,095 | 285,19 | 0,095 | 290,74 |
| 21 | 0,1 | 287,04 | 0,1 | 291,98 |
| 22 | 0,105 | 289,51 | 0,105 | 293,83 |
| 23 | 0,11 | 290,12 | 0,11 | 295,06 |
| 24 | 0,115 | 293,21 | 0,115 | 295,68 |
| 25 | 0,1192 | 294,44 | 0,1190 | 296,30 |

3.3 Компьютерное моделирование испытания на растяжения в программе LS-DYNA

С целью снижения трудоемкости и экономических затрат при проведении механических испытаний, выполняется компьютерное моделирование этих испытаний численным методом конечных элементов в программе инженерного анализа LS-DYNA, позволяющее предсказать поведение материала при испытании и определить основные механические характеристики.

Экспериментальные данные были соотнесены с пятью моделями материалов из LS-DYNA, чаще всего применяющимися при описании процессов листовой штамповки.

При моделировании процесса механического испытания на растяжение магниевого сплава AZ31B-O в LS-DYNA была создана объемная (с 5 конечными элементами по толщине) (рисунок 20) и оболочечная конечноэлементная модели плоского образца для испытания на растяжение в соответствии с размерами экспериментального образца (рисунок 21).

В объемной модели в качестве КЭ используются трехмерные объемные восьмиузловые шестигранники, а в оболочечной модели – оболочечные четырех -узловые КЭ.

Specimen Tension 3Elem through Thickness

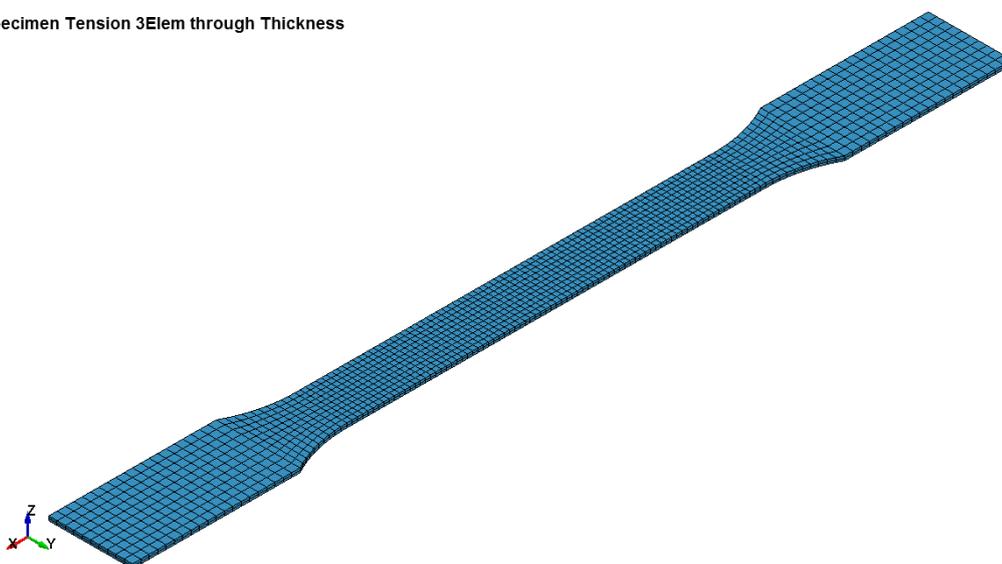


Рисунок 20 – Объемная модель образца для растяжения

TENSION TEST SIMULATION, mat=24, displacement



Рисунок 21 – Оболочечная модель образца для образца

Для каждого типа моделей материалов был создан k. файл в виде набора карт, задающих операции одноосного растяжения.

Пример структуры выходного k.файла задающего процесс одноосного растяжения магниевого сплава AZ31B-O в направлении прокатки для кусочнолинейного изотропного материала типа 24.

```
*KEYWORD
*TITLE
TENSION TEST SIMULATION, mat=24, displacement
$---+---1---+---2---+---3---+---4---+---5---+---6---+---7---+---8
*CONTROL_TIMESTEP
    0.0000  0.9000
*CONTROL_TERMINATION
    0.01000
*DATABASE_EXTENT_BINARY
$---+---1---+---2---+---3---+---4---+---5---+---6---+---7---+---8
$   i   i   i   i   i   i   i   i
$ neiph neips maxint strflg sigflg epsflg rltflg engflg
$   i   i   i
$ cmpflg ieverp beamip
    1
$---+---1---+---2---+---3---+---4---+---5---+---6---+---7---+---8
*DATABASE_BINARY_D3PLOT
    0.001
*DATABASE_GLSTAT
    0.00001
*DATABASE_NODFOR
    0.00001
*DATABASE_ELOUT
    0.00001
*DATABASE_SECFORC
```

0.00001

\$---+---1---+---2---+---3---+---4---+---5---+---6---+---7---+---8

*DATABASE_NODAL_FORCE_GROUP

2

*SET_NODE_LIST

2

1130,1131,1132,1133,1134,1135,1136,1137

1138,1139,1140,1141,1142,1143,1164,1185

1206,1227,1248,1269,1290,1311,1332,1353

1352,1351,1350,1349,1348,1347,1346,1345,

1344,1343,1342,1341,1340

\$---+---1---+---2---+---3---+---4---+---5---+---6---+---7---+---8

*SET_NODE_LIST

3

892,913,934,955,976,997,1018,1039

905,904,903,902,901,900,899,898

897,896,895,894,893,1103,1104,1105

1106,1107,1108,1109,1110,1111,1112,1113

1114,1106,1081,1102,1115

*DATABASE_HISTORY_SHELL

41,40,121,120,201,200,281,280

361,360,441,440,521,520,601,600

681,680,761,760

*SET_PART_LIST

1

1

\$---+---1---+---2---+---3---+---4---+---5---+---6---+---7---+---8

*DATABASE_CROSS_SECTION_PLANE

1 1 10 10 210 10 10

1 -10 -10 20 20

```

$---+---1---+---2---+---3---+---4---+---5---+---6---+---7---+---8
*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY
$  MID    RO    E    PR    SIGY    ETAN    FAIL
    1 1.780E-09 4.500E+04 0.000E-010.0000E+00 0.000E+00 0.282
$  C      P    LCSS
$ note that if LCSS is defined the EPS vs ES is ignored
$ if C and P are set to zero, no strain rate effect will be considered
    0.0    0    0
$ (EPS) effective plastic strain vs efftive stress (ES)
    0.00095  0.025  0.05  0.075  0.1  0.115  0.1192
    159.88  219.75  252.47  274.69  287.94  293.21  294.44
$---+---1---+---2---+---3---+---4---+---5---+---6---+---7---+---8
*SECTION_SHELL
    1      2 0.000E+00 3.000E+00
    1.000E-00 1.000E-00 1.000E-00 1.000E-00
$---+---1---+---2---+---3---+---4---+---5---+---6---+---7---+---8
*PART
SHELL
    1      1      1
$---+---1---+---2---+---3---+---4---+---5---+---6---+---7---+---8
*DEFINE_CURVE
    1
    0.000000000000000E+00 0.000000000000000E+00
    0.010000000000000E+00 50.0000000000000E+00
$---+---1---+---2---+---3---+---4---+---5---+---6---+---7---+---8
*BOUNDARY_SPC_SET
    2      0      1      1      1      1      1      1
$---+---1---+---2---+---3---+---4---+---5---+---6---+---7---+---8
*BOUNDARY_PRESCRIBED_MOTION_SET
    3      1      2      1 1.000E+00

```

```

$---+---1---+---2---+---3---+---4---+---5---+---6---+---7---+---8
*ELEMENT_SHELL
    1    1    1    2    83    82    0    0    0    0
*NODE
    1      155.0      16.25      0.0    0    0
*END

```

Описание структуры к. файла [10]:

(1) *KEYWORD – является признаком начала файла с данными препроцессора, которые необходимы для запуска решателя LS-DYNA или признаком начала колоды карт с ключевыми словами и необходимыми данными для решения задачи в среде LS-DYNA. Признаком ключевого слова является символ «*» в первой колонке карты ввода.

(2) *TITLE – задает название выполняемого расчета.

TENSION TEST SIMULATION, mat=24, displacement

Моделирование испытания на растяжение, материал – 24, перемещение

Знак доллара «\$» в первой колонке предшествует комментарию и указывает на то, что данная строка ввода должна игнорироваться.

(3) *CONTROL_TIMESTEP – задает параметры управления размером шага прочностного расчета.

0.0000 – DTINIT, определяет начальный размер шага по времени;

0.9000 – TSSFAC, коэффициент пересчета для расчетного шага по времени (значение по умолчанию).

(4) *CONTROL_TERMINATION – определяет завершение выполнения задания.

0.0100 – ENDTIM, определяет время окончания задачи по величине перемещения. Наряду с этой переменной для завершения задачи могут использоваться и другие ENCYC, ENDENG, ENDMAS (по циклу, по величине энергии, по значению массы).

(5) *DATABASE_EXTENT_BINARY – задает базу данных для записи результатов в файлы D3PLOT, D3PART, D3THDT.

NEIPH - число дополнительных переменных истории интегрирования по точкам, записанных в базу данных LS-TAURUS для объемных элементов. Данные о точках интегрирования записываются в том же порядке, в каком они хранятся в памяти – каждая модель материала имеет свои собственные переменные истории, которые хранятся: =0;

NEIPS – число дополнительных переменных истории интегрирования по точкам, записанных в базу данных LS-TAURUS для оболочечных и толстостенных оболочечных элементов для каждой точки интегрирования: =0;

MAXINT – число точек интегрирования в оболочечном элементе, записанном в базу данных LS-DYNA. Если MAXINT=3 (по умолчанию), выдаются результаты для внешней (верхней), внутренней (нижней) точки интегрирования и нейтральной оси. Если значение отлично от 3, то будут выданы результаты для первых MAXINT точек интегрирования в элементе: =3;

STRFLG – задается равным 1 для записи тензоров деформации для объемных, оболочечных и толстостенных оболочечных элементов для выдачи на график с помощью постпроцессора LS-POST и файла ELOUT в формате ASCII. Для оболочечных и толстостенных оболочечных элементов записываются два тензора – один во внутренней точке интегрирования и один во внешней точке интегрирования. Для объемных элементов записывается один тензор деформации: =0;

SIGFLG – флаг-признак записи тензора напряжений в базу данных оболочечных элементов: =1 – записывать (по умолчанию);

EPSFLG – флаг-признак записи эффективных пластических деформаций в базу данных оболочечных элементов: =1 – записывать (по умолчанию);

RLTFLG – флаг-признак записи результирующих напряжений в базу данных оболочечных элементов: =1 – записывать (по умолчанию);

ENGFLG – флаг-признак записи внутренней энергии и толщины в базу данных: =1 - записывать (по умолчанию);

СМРFLG – выходные данные о напряжениях в ортотропном и анизотропном материале в локальной системе координат для оболочечных и толстостенных оболочечных элементов: =0: глобальные координаты;

1 – IEVERP – каждое выводимое на график состояние в базе данных «d3plot» записывается в отдельный файл. В этом случае в базу данных можно записать не более 100 состояний: =1 – в каждом файле может быть записано только одно состояние;

BEAMIP – число точек интегрирования в балочном элементе: =0.

(6) *DATABASE_BINARY_D3PLOT – определяет создание файла с именем d3plot, содержащего вывод окончательного состояния системы.

0.0010 – DT, интервал времени между записями выходных данных.

(7) *DATABASE_GLSTAT – файл формата ASCII, содержащей глобальные данные, доступные всегда, если активирован файл SSSTAT.

0.00001 – DT, промежуток времени между выводами информации.

(8) *DATABASE_NODFOR – файл формата ASCII, в который записываются группы сил в узлах, см. *DATABASE_NODAL_FORCE_GROUP.

0.00001 – DT, промежуток времени между выводами информации.

(9) *DATABASE_ELOUT – файл формата ASCII, в который записываются данные об элементе, см. *DATABASE_HISTORY_SHELL.

0.00001 – DT, промежуток времени между выводами информации.

(10) *DATABASE_SECFORC – файл формата ASCII, в который записываются усилия в поперечном сечении, см. *DATABASE_CROSS_SECTION_PLANE.

0.00001 – DT, промежуток времени между выводами информации.

(11) *DATABASE_NODAL_FORCE_GROUP – задает группы сил в узлах для записи в файл NODFOR формата ASCII и двоичный файл XTFILE.

2 – NSID, идентификатор набора узлов, см. *SET_NODE_LIST.

(12) *SET_NODE_LIST – задает набор узлов с идентичными или уникальными атрибутами. Узлы, прочно закрепленные в захвате неподвижной траверсы разрывной машины.

2 – SID, идентификатор набора узлов;
 1130,1131,1132,1133,1134,1135,1136,1137
 1138,1139,1140,1141,1142,1143,1164,1185
 1206,1227,1248,1269,1290,1311,1332,1353
 1352,1351,1350,1349,1348,1347,1346,1345
 1344,1343,1342,1341,1340– NIDn, идентификатор узла n (рисунок 22).



Рисунок 22 - Положение узлов группы 2

(13) *SET_NODE_LIST - задает набор узлов с идентичными или уникальными атрибутами. Узлы, прочно закрепленные в захвате подвижной траверсы разрывной машины.

3– SID, идентификатор набора узлов;
 892,913,934,955,976,997,1018,1039
 905,904,903,902,901,900,899,898
 897,896,895,894,893,1103,1104,1105
 1106,1107,1108,1109,1110,1111,1112,1113
 1114,1106,1081,1102,1115– NIDn, идентификатор узла n (рисунок 23).

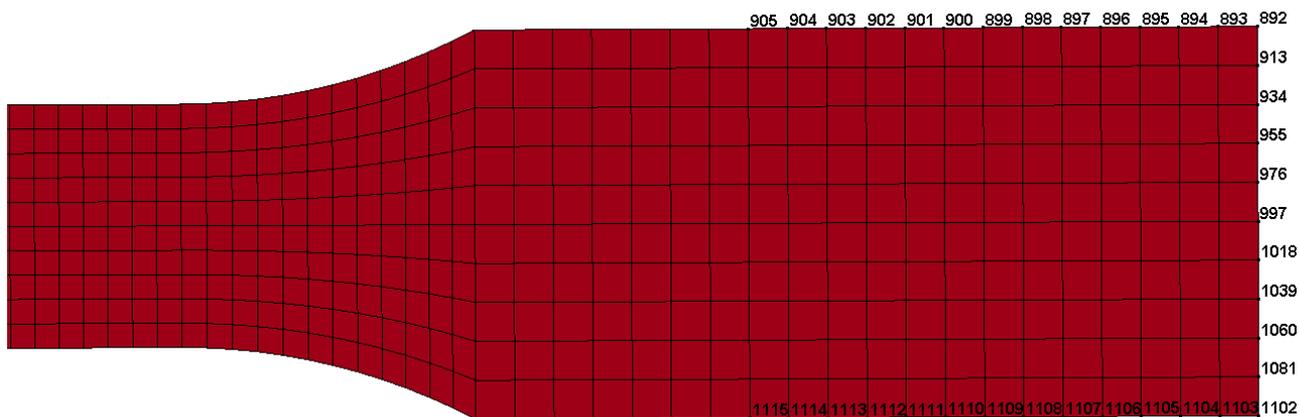


Рисунок 23 – Положение узлов группы 3

(14) *DATABASE_HISTORY_SHELL – задает оболочечные элементы, данные о которых должны записываться в двоичный файл D3THDT и файлы формата ASCII: NODOUT, ELOUT и файл SPHOUT.
 41,40,121,120,201,200,281,280
 361,360,441,440,521,520,601,600
 681,680,761,760 – IDn, идентификатор элемента n (рисунок 24).

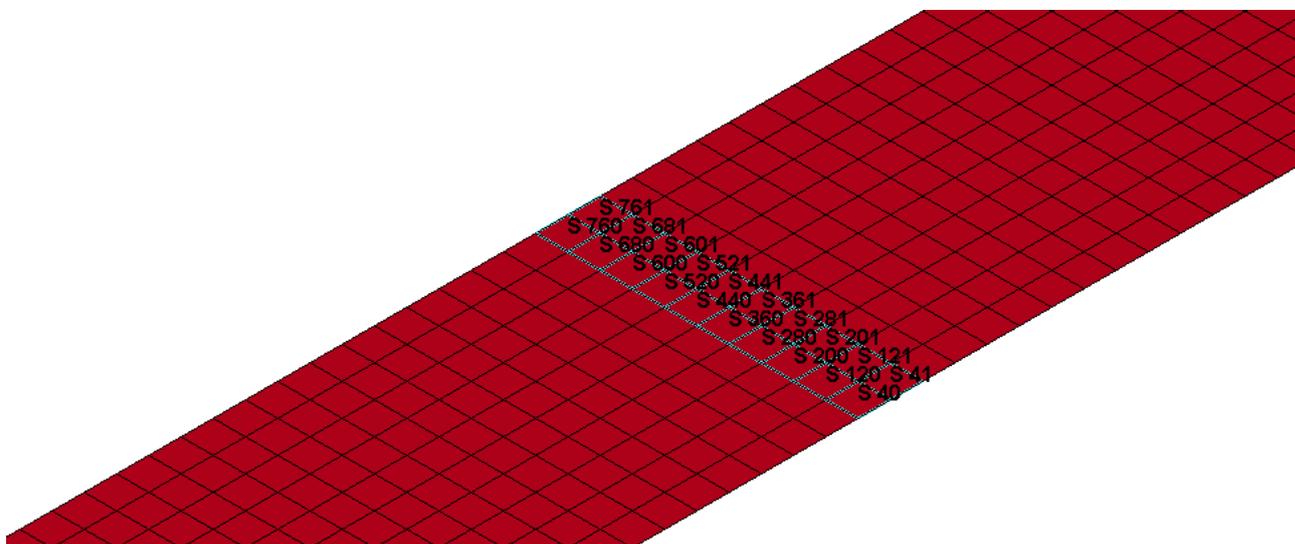


Рисунок 24 - Оболочечные элементы, расположенные в центре образца

(15) *SET_PART_LIST – задает набор частей модели с произвольными атрибутами.

1 – SID, идентификатор набора данных;

1 – PID, идентификатор части.

(16) *DATABASE_CROSS_SECTION_PLANE – задает параметры поперечного сечения для определения равнодействующих сил, вносимых в файл SECFORC формата ASCII.

1 – PSID, идентификатор набора частей;

1 – XCT, координата x начала вектора внешней нормали N;

10 – YCT, координата y начала вектора нормали N;

10 – ZCT, координата z начала вектора нормали N;

210 – XCH, координата x конца вектора нормали N;

10 – YCH, координата y конца вектора нормали N;

10 – ZCH, координата z конца вектора нормали N;

1 – XHEV, координата x конца вектора грани L;

-10 – YHEV, координата y конца вектора грани L;

-10 – ZHEV, координата z конца вектора грани L;

20 – LENL, длина грани a в направлении вектора L;

20 – LENM, длина грани b в направлении вектора M.

Для данных приведенных выше, положение секущей плоскости представлено на рисунке 25. Секущая плоскость проходит через центр элемента, разделяя его на две равные части.

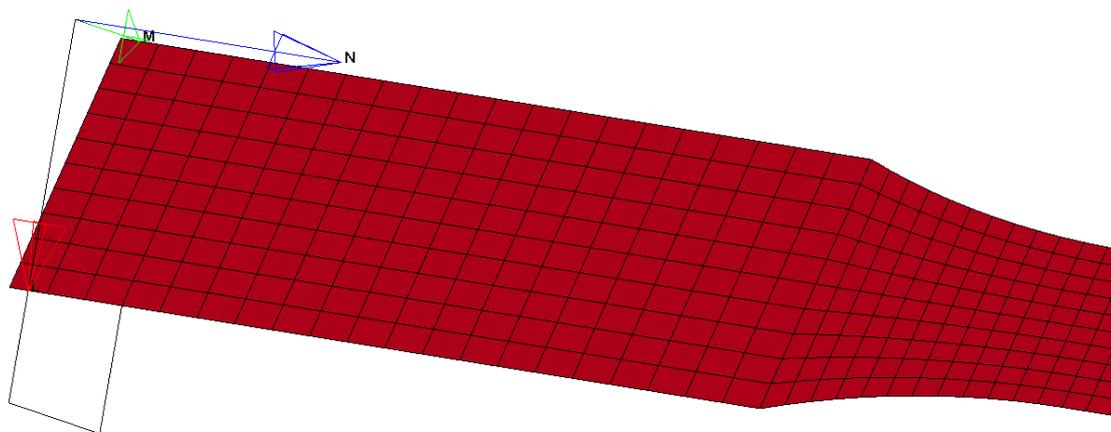


Рисунок 25 - Положение секущей плоскости и векторов L, M, N

(17) *MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY – это материал типа 24. С помощью этой модели можно задать упругопластический материал с произвольной зависимостью между напряжением и деформацией, а также произвольной зависимостью от скорости деформации. Кроме того, можно задать критерий разрушения либо на основе пластической деформации, либо на основе минимального шага по времени.

1 – MID, идентификатор материала в виде уникального номера;

1.780E-09 – RO, массовая плотность;

4.500E+04 – E, модуль Юнга;

3.500E-01 – PR, коэффициент Пуассона;

0.000E+00 – SIGY, предел текучести;

0.000E+00 – ETAN, касательный модуль;

0.2820 – FAIL, критерий разрушения, >0.0: пластическая деформация до разрушения;

0.0 – C, параметр скорости деформации C, не учитывается;

0 – P, параметр скорости деформации P; не учитывается;

0 – LCSS, идентификатор задающей кривой или таблицы, определяющий зависимость между эффективным напряжением и эффективной пластической деформацией. Таблица задает для каждого значения скорости деформации задающую кривую, определяющую зависимость между напряжением и пластической деформацией для данного значения скорости деформации.

\$ note that if LCSS is defined the EPS vs ES is ignored - \$ если задан LCSS, то переменные EPS и ES игнорируются

\$ if C and P are set to zero, no strain rate effect will be considered - \$ если C и P равны 0, то эффект скорости деформации не учитывается

\$ (EPS) effective plastic strain vs effective stress (ES) - \$ (EPS) эффективная пластическая деформация и эффективное напряжение (ES)

0.00095 0.025 0.05 0.075 0.1 0.115 0.1192 – EPS1-EPS8, значения эффективной пластической деформации. Задаются не менее 2-х значений.

159.88 219.75 252.47 274.69 287.94 293.21 294.44 – ES1-ES8, значения предела текучести, соответствующие значения переменных EPS1-EPS8.

(18) *SECTION_SHELL – задает параметры поперечного сечения для оболочечных элементов.

1 – SECID, идентификатор сечения. Указывается к карте *PART;

2 – ELFORM, опция формулировки элементов, элемент Беличко-Цая;

0.000E+00 – SHRF, коэффициент сдвига, с помощью которого корректируются значения поперечных касательных напряжений;

3.000E+00 – NIP, число точек интегрирования по толщине;

1.000E-00 – T1, толщина оболочки для узла n1;

1.000E-00 – T2, толщина оболочки для узла n2;

1.000E-00 – T3, толщина оболочки для узла n3;

1.000E-00 – T4, толщина оболочки для узла n4.

(19) *PART – задание так называемых частей расчетной модели, т.е. объединение информации о материале, характеристиках сечения, видах контроля искажений элементов по типу песочных часов, теплофизических свойствах и флаге-признаке адаптивной части.

SHELL (ОБОЛОЧКА) – HEADING, заголовок для данной части модели;

1 – PID, идентификатор части

1 – SECID, идентификатор раздела, определяемый в разделе *SECTION;

1 – MID, идентификатор материала, определяемый в разделе *MAT.

(20) *DEFINE CURVE – задание кривой, часто называемой задающей кривой, кривой нагружения.

1 - LCID, идентификатор задающей кривой, задающая кривая для перемещения подвижного конца образца как функции от времени (рисунок 26);

0.000000000000000E+00, 0.010000000000000E+00 - A1, A2, значения абсцисс;

0.000000000000000E+00, 50.0000000000000E+00 - O1, O2, значения ординат (функций).



Рисунок 26 - Кривая зависимости перемещения подвижного конца образца от времени

(21) *BOUNDARY_SPC_SET – задание одноточечных ограничений для узловых точек. Ограничения накладываются в том случае, если степень свободы принимает значение 1. Если значение равно нулю, ограничений нет.

2 – NSIDn, идентификатор набора узлов n (рисунок 27);

0 – CID, идентификатор системы координат;

1 – DOFX, ограничение поступательного движения в локальном направлении x;

1 – DOFY, ограничение поступательного движения в локальном направлении y;

1 – DOFZ, ограничение поступательного движения в локальном направлении z;

1 – DOFRX, ограничение вращательного движения вокруг локальной оси x;

1 – DOFRY, ограничение вращательного движения вокруг локальной оси y;

1 – DOFRZ, ограничение вращательного движения вокруг локальной оси z.



Рисунок 27 - Узлы, для которых заданы ограничения движения

(22) *BOUNDARY_PRESCRIBED_MOTION_SET – задание для узла или набора узлов параметров движения (скорость, ускорение или смещение). Скорости и смещения можно также приписывать твердым телам. Разрешено задавать скорость и ускорение поступательного движения для узлов твердого тела. Для узлов твердого тела используется опция NODE.

3– NSIDn, идентификатор набора узлов n (рисунок 28);

1 – DOF, применяемые степени свободы, поступательное движение по оси x;

2 – VAD, флаг-признак задания скорости/ускорения/перемещения, перемещение (твердые тела и узлы);

1 – LCID, идентификатор задающей кривой для описания зависимости движения от времени, см. *DEFINE_CURVE;

1.000E+00 – SF, коэффициент перерасчета задающей кривой.

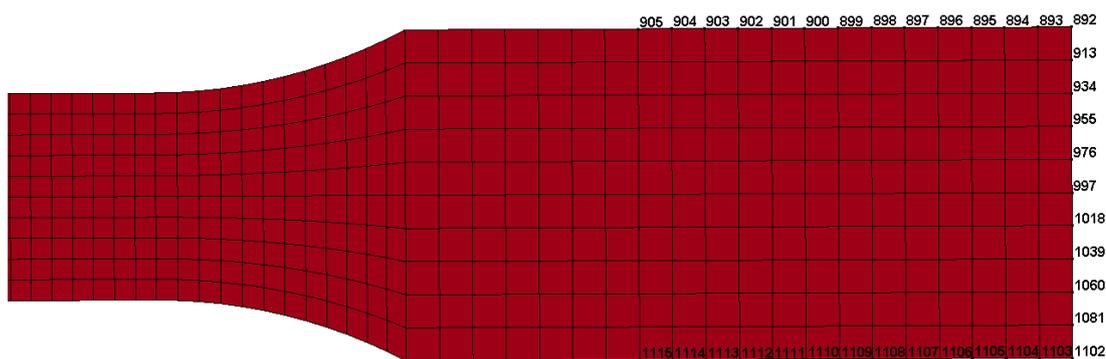


Рисунок 28 - Узлы, с заданным перемещением вдоль оси x

(23) *ELEMENT_SHELL – задание трех- и четырехузловые элементы, включая трехмерные оболочечные, мембранные, элементы плоского напряженного состояния, элементы плоской деформации и осесимметричные объемные элементы. Тип элемента и его формулировка задаются с помощью идентификатора детали (см. *PART) и идентификатора сечения (см. *SECTION_SHELL). Кроме того, может быть задана толщина каждого элемента, если это возможно, в картах элементов, в противном случае толщина берется по умолчанию из карты задания сечения.

1, – EID, идентификатор элемента;

1 – PID, идентификатор детали, см. *PART;

1, ... - N1, узловая точка 1;

2, ... - N2, узловая точка 2;

83, ... - N3, узловая точка 3;

82, ... - N4, узловая точка 4.

(24) *NODE – определение узла и его координаты в глобальной системе координат. Кроме того, можно задать граничные условия в глобальных направлениях.

1, ... - NID, номер узла;

155.0, ... - X, координата x;

16.25, ... - Y, координата y;

0.0, ... – Z, координата z;

0 – TC, ограничение перемещений, =0: нет ограничений;

0 – RC, ограничение поворотов, =0: нет ограничений.

(25) *END – завершение расчета.

Процесс разрушения образца представлен на рисунке 29.

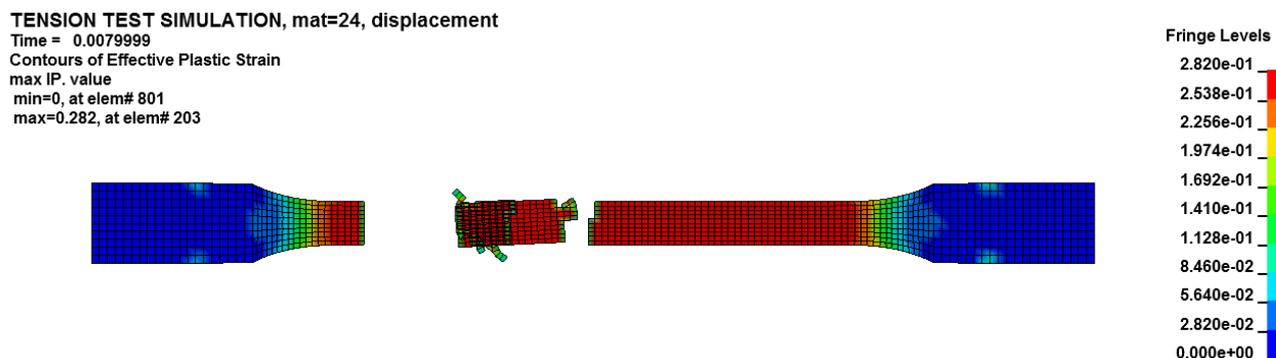


Рисунок 29 - Разрушение образца

3.3.1. Типы моделей материалов в LS-DYNA, описывающих материалы в листовой штамповке

1) Кинематическая/изотропная пластичность. Материал типа 3. Модель,

используемая для расчета изотропного и кинематического упрочнения пластичных материалов [10]. Подходит для балочных, оболочечных и объемных элементов. Формат карт данной модели для материала AZ31В-О представлен в таблице 3.

Данная модель при моделировании применялась и для объемных, и для оболочечных элементов.

Таблица 3 –Формат карты материала типа 3

| | | | | | | | | |
|------------|-----|----------------------|-------|------|--------|-------|------|---|
| Карта 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Переменная | MID | RO | E | PR | SIGY | ETAN | BETA | |
| Значение | 1 | $1,78 \cdot 10^{-9}$ | 45000 | 0,35 | 159,88 | 435,9 | 1 | |
| Карта 2 | | | | | | | | |
| Переменная | SPC | SRP | FS | VP | | | | |
| Значение | 0 | 0 | 0,282 | 1 | | | | |

Описание переменных карты [10]:

MID – идентификатор материала в виде уникального номера;

RO – массовая плотность;

E – модуль Юнга;

PR – коэффициент Пуансона;

SIGY –предел текучести;

ETAN – касательный модуль;

BETA – параметр упрочнения $0 < \beta < 1$ (0 – кинематическое упрочнение, 1 – изотропное упрочнение);

SRC – параметр скорости деформации C, 0 – скорость деформации не учитывается;

SRP – параметр скорости деформации, 0 – скорость деформации не учитывается;

FS – деформация разрушения;

VP – формулировка эффектов скорости деформации: 1,0 – вязкопластическая формулировка;

2) Кусочнолинейная изотропная пластичность. Материал типа 24. Эта модель задают упругопластический материал с произвольной зависимостью между напряжением и деформацией. Кроме того можно задать критерий разрушения на основе пластической деформации [10]. Формат карты для AZ31В-О представлен в таблице 4.

Таблица 4 –Формат карты материала типа 24

| | | | | | | | | |
|------------|---------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| Карта 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Переменная | MID | RO | E | PR | SIGY | ETAN | FAIL | TDEL |
| Значение | 1 | $1,78 \cdot 10^{-9}$ | 45000 | 0,35 | 0 | 0 | 0.282 | 0 |
| Карта 2 | | | | | | | | |
| Переменная | C | P | LCSS | | | | | |
| Значение | 0 | 0 | 0 | | | | | |
| Карта 3 | | | | | | | | |
| Переменная | EPS1 | EPS2 | EPS3 | EPS4 | EPS5 | EPS6 | EPS7 | EPS8 |
| Значение | 0.00095 | 0.025 | 0.05 | 0.075 | 0.1 | 0.115 | 0.1192 | |
| Карта 4 | | | | | | | | |
| Переменная | ES1 | ES2 | ES3 | ES4 | ES5 | ES6 | ES7 | ES8 |
| Значение | 159,88 | 219,75 | 252,47 | 274,69 | 287,94 | 293,21 | 294,44 | |

Описание переменных карты [10]:

FAIL – критерий разрушения;

TDEL – минимальный размер шага по времени для автоматического исключения элемента из рассмотрения;

C, P – параметры скорости деформации, не учитываются.

LCSS – идентификатор задающей кривой или таблицы.

LCSR – идентификатор задающей кривой, определяющий влияние скорости деформации на предел текучести.

3) Изотропная пластичность со степенным законом упрочнения. Материал

типа 18. Модель изотропной пластичности с возможностью задания зависимости от скорости деформации, использует упрочнение по степенному закону [10]. Формат карты материала представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Формат карты материала типа 18

| | | | | | | | | |
|------------|------|----------------------|-------|------|---|-------|-----|-----|
| Карта 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Переменная | MID | RO | E | PR | K | N | SRC | SRP |
| Значение | 1 | $1,78 \cdot 10^{-9}$ | 45000 | 0,35 | | 0,185 | 0 | 0 |
| Карта 2 | | | | | | | | |
| Переменная | SIGY | VP | | | | | | |
| Значение | 0 | 0 | | | | | | |

Описание переменных карты [10]:

K – коэффициент прочности;

N – экспонента упрочнения;

SIGY – дополнительный входной параметр для задания начального предела текучести σ_y ; его задание необязательно;

VP – формулировка зависимости от скорости деформации, при 0 – перерасчет предела текучести (по умолчанию).

4) Трансверсальная анизотропная упругопластичность. Это материал типа 37, позволяющий моделировать поведение анизотропных материалов в процессе листовой штамповки. Недостатком данной модели является, что учитывается только поперечная анизотропия. Имеется возможность задавать кривую упрочнения. Используется только для оболочечных элементов. Формат карты материала данного типа представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Формат карты материала типа 37

| | | | | | | | | |
|------------|-----|----------------------|-------|------|--------|-------|-----|-------|
| Карта 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Переменная | MID | RO | E | PR | SIGY | ETAN | R | HLCID |
| Значение | 1 | $1,78 \cdot 10^{-9}$ | 45000 | 0,35 | 159,88 | 435,9 | 4,3 | 99 |

Описание переменных данной карты:

R – параметр анизотропного упрочнения;

HLCID – идентификатор задающей кривой упрочнения.

5) Модель Барлата. Материал типа 36, позволяет моделировать изотропные материалы в условиях плоского напряженного состояния. Анизотропия задается с помощью параметров Ланкфорда. Формат карты представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Формат карты материала типа 36

| | | | | | | | | |
|------------|------|----------------------|-------|------|------|---------|---------|------|
| Карта 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Переменная | MID | RO | E | PR | HR | P1 | P2 | ITER |
| Значение | 1 | $1,78 \cdot 10^{-9}$ | 45000 | 0,35 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Карта 2 | | | | | | | | |
| Переменная | M | R00 | R45 | R90 | LCID | E0 | SPI | |
| Значение | 2 | 1,7 | 2,6 | 4,3 | 99 | 0,00095 | 0,00095 | |
| Карта 3 | | | | | | | | |
| Переменная | AOPT | | | | | | | |
| Значение | 2 | | | | | | | |
| Карта 4 | | | | | | | | |
| Переменная | | | | A1 | A2 | A3 | | |
| Значение | | | | 1,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| Карта 5 | | | | | | | | |
| Переменная | | | | D1 | D2 | D3 | | |
| Значение | | | | 0,0 | 1,0 | 0,0 | | |

Описание карты [10]:

HR – закон упрочнения, вводимый задающей кривой;

P1, P2 – параметры материала, рассчитываются автоматически;

ITER – число итераций, устанавливается автоматически;

M – экспонента поверхности текучести Барлата;

R00, R45, R90 – параметры Ланкфорда;

LCID – идентификатор задающей кривой для закона упрочнения

E_0 – значение деформации соответствующее начальному пределу текучести;

AOPT – оси материала, задающие глобально ортотропный материал;

A1, A2, A3 – компоненты вектора a ;

D1, D2, D3 – компоненты вектора d .

Использование модели Барлата является преимущественным, она наиболее подходит для операций листовой штамповки в условиях плоского напряженного состояния, так как учитывает анизотропию свойств с заданием трех коэффициентов Ланкфорда, а также позволяет использовать заданную кривую упрочнения, что существенно повышает точность расчетов.

3.4 Технологические испытания

Технологические испытания дают более полную информацию о пригодности к штамповке, так как они проводятся в условиях моделирующие различные операций листовой штамповки. Длительность этих испытаний определяется моментом появления трещины или разрыва, затем фиксируется критическая степень деформации, которая и является критерием штампуемости [3].

Наиболее часто применяемым технологическим испытанием является испытание на глубину формовки лунки по Эриксену. Испытание заключается в формовки сферическим пуансоном лунки в образце, прочно зажатым между матрицей и прижимным кольцом (рисунок_). При этом возникает неблагоприятное для материала напряженно – деформированное состояние двухосного растяжения. Глубина выдавливания сферической лунки для толщин 0,5 – 2,0 мм в зависимости от рода материала составляет 8,0 – 15 мм [4], к примеру, для листовой стали толщиной 1 мм глубина выдавливания составляет порядка 10 мм.

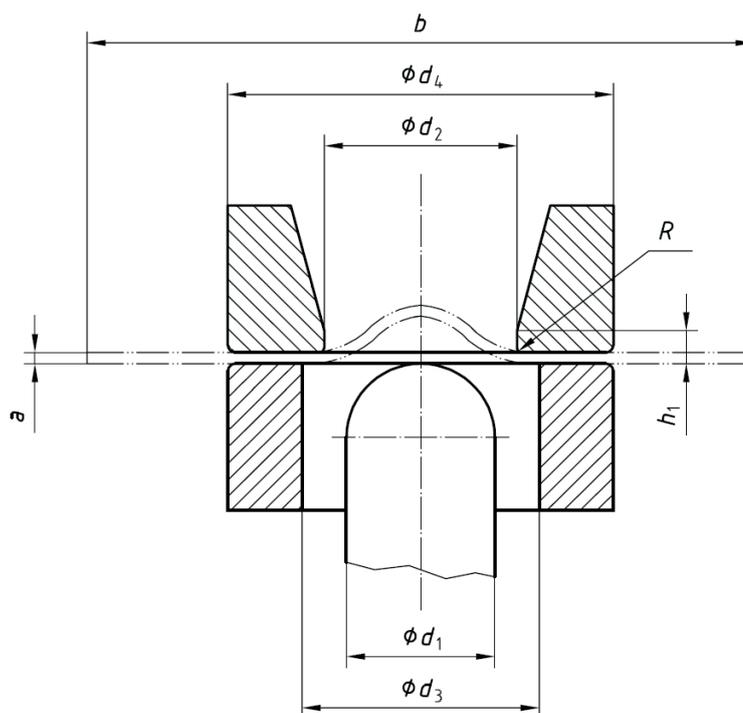


Рисунок 30 - Схема испытания по Эриксену

3.4.1 Моделирование испытания на выдавливание сферической лунки по Эриксену

Согласно размерам инструмента №2 [6] в Siemens NX 9.0 был смоделирован рабочий инструмент (матрица, прижимное кольцо, сферический пуансон и полоса шириной 80 мм) (рисунок 31).

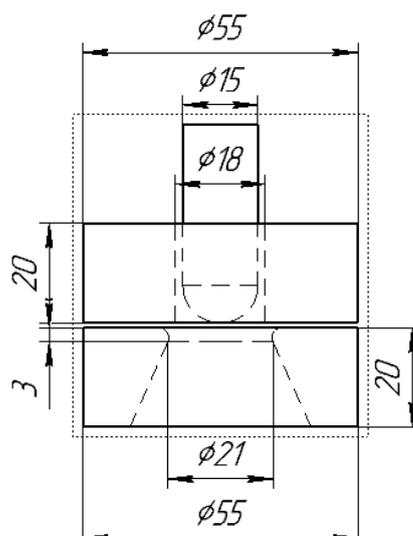


Рисунок 31 – Рабочий инструмент для испытания

Полученные математические модели инструмента и заготовки были загружены в Autoform (рисунок 32). Где в сравнение со сталью DC04 (08Ю) проведен анализ на глубину формовки лунки материала AZ31В-О, толщиной 1 мм. Величина усилия прижима заготовки прижимным кольцом составляет 10000 Н, а скорость движения пуансона – 5 мм/мин.

При испытании стали DC04, максимальная глубина лунки получилась примерно равной 8 мм (рисунок 33). Возникающие при этом деформации, представлены на диаграмме предельных деформаций (рисунок 34).

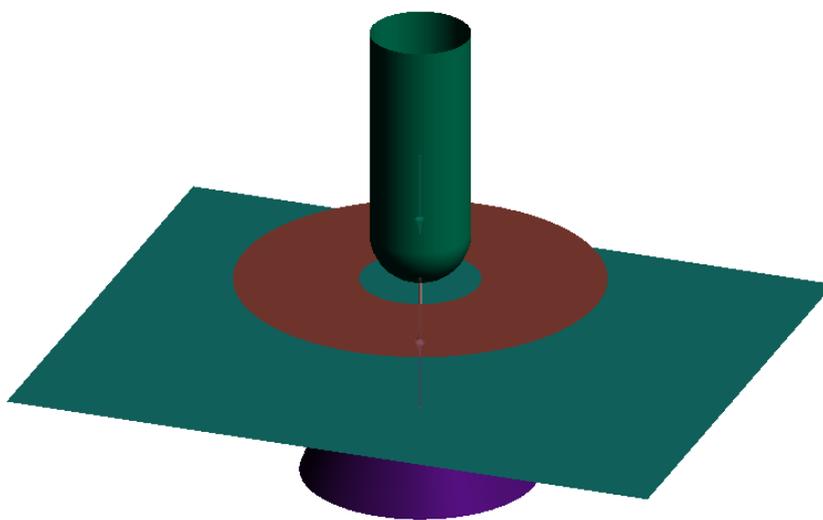


Рисунок 32– Загруженные модели в Autoform



Рисунок 33 - Максимальная глубина лунки материала DC04

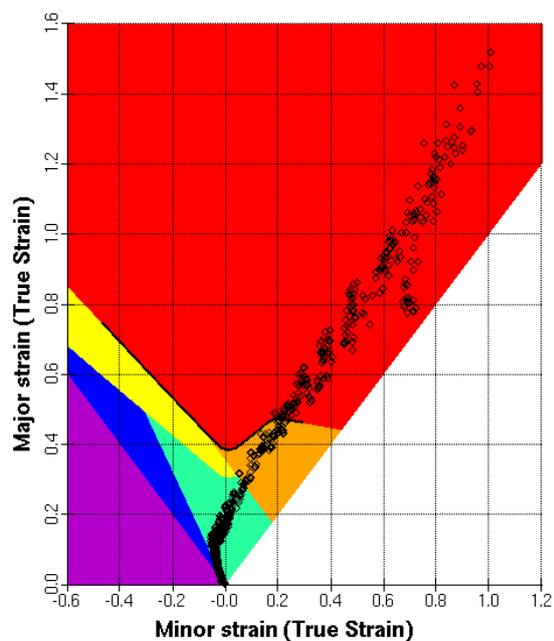


Рисунок 34 - FLD при формовке лунки для материала DC04

При испытании магниевого сплава AZ31B-O, толщиной 1 мм максимальная глубина лунки получилась тоже примерно равной 8 мм (рисунок 35). Величины деформаций, возникающих при формовке лунки представлены на диаграмме предельных деформаций (рисунок 36).

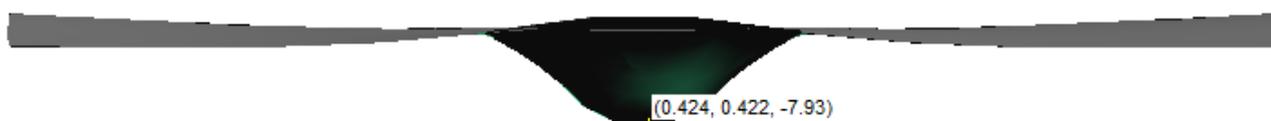


Рисунок 35 - Максимальная глубина лунки материала AZ31B-O

При сравнении двух диаграмм можно легко заметить что они идентичны, разрушение происходит по одной и той же схеме – двухосного растяжения. При этой схеме штампуемость в основном определяется коэффициентами анизотропии, которые у магниевого сплава AZ31B-O достаточно большие, и они уравнивают возможности вытяжки по этой схеме с DC04, несмотря на то что DC04 имеет большую деформацию разрушения.

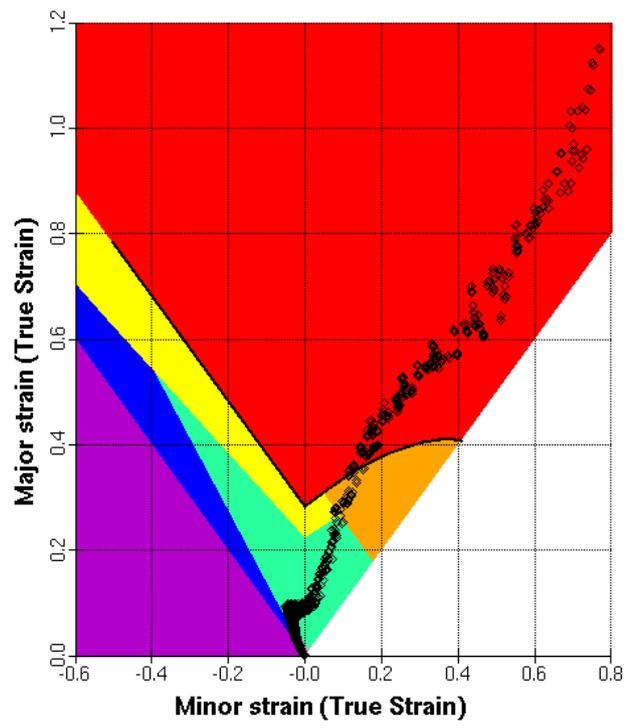


Рисунок 36 - FLD при формовке лунке сплава AZ31B

4 Компьютерное моделирование процесса вытяжки в AutoForm

Основной формообразующей операцией при штамповке кузовных деталей автомобиля является вытяжка. Способность материала к вытяжке и определяет возможность получения кузовных деталей автомобиля.

Программный продукт AutoForm на сегодняшний день является самой популярной программой в автомобильной промышленности и листоштамповочном производстве и предназначен для оптимизации технологических процессов листовой штамповки. С его помощью можно проводить анализ штампуемости детали, оптимизацию геометрии вытяжных переходов и заготовки, оптимизацию раскроя листа, компьютерную верификацию штампов и техпроцессов листовой штамповки и гидравлическую раздачу труб.

При моделировании процесса штамповки AutoForm дает возможность определить:

- состояние заготовки после закрытия прижима;
- возможные зоны разрывов в процессе пошагового анализа;
- тенденцию к гофрообразованию, зоны с гофрами;
- зоны недостаточного натяжения;
- процесс формообразования;
- величину относительного утонения и утонения с приращением;
- высоту гофров;
- тенденцию к обратному пружинению готовой детали.

В AutoForm присутствует интуитивная визуализация качественной оценки штампуемости с зонами разрывов, опасности разрывов, безопасной зоной, зоной недостаточного натяжения, зоной возможного гофрообразования.

Одним из достоинств AutoForm является возможность анимации процесса штампуемости, который позволяет сделать оценку того, когда и в какой момент времени начинают образовываться гофры или происходит разрыв детали.

В данной работе с помощью AutoForm проводится анализ штампуемости материала AZ31В-О на основе сравнения со штампуемостью популярной в автомобильном листостамповочном производстве марки стали DC04 (08Ю).

Первоначально в качестве детали для вытяжки используется квадратная коробчатая деталь «кювета», а затем осуществляется моделирование штамповки кузовной детали автомобиля «капот».

4.1 Задание исходных данных

В качестве детали для моделирования процесса вытяжки и анализа штампуемости материала AZ31В-О толщиной 1 мм была выбрана квадратная коробчатая деталь с фланцем («кювета»). Напряженно-деформированное состояние, возникающее при ее вытяжке условно можно считать схожим с НДС при вытяжке кузовных деталей легкового автомобиля. Геометрия детали представлена на рисунке 37.

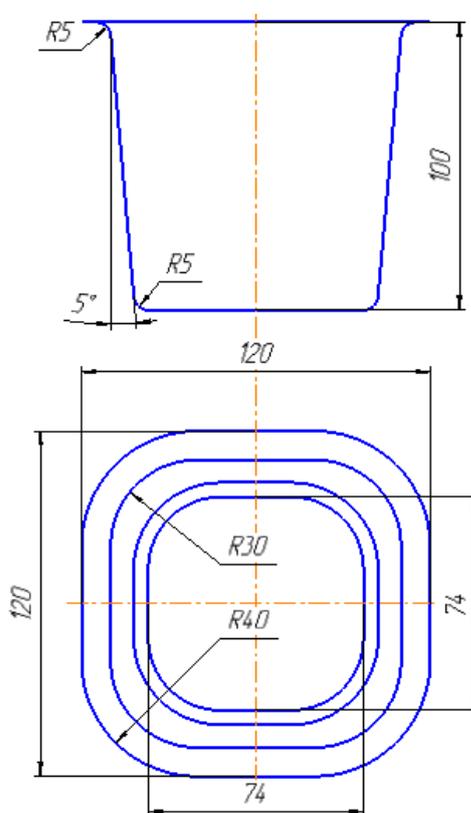


Рисунок 37 - Коробчатая деталь («кювета»)

По данным размерам в Siemens NX 9.0 была создана математическая модель кюветы, представляющая собой набор сшитых поверхностей (рисунок 38).

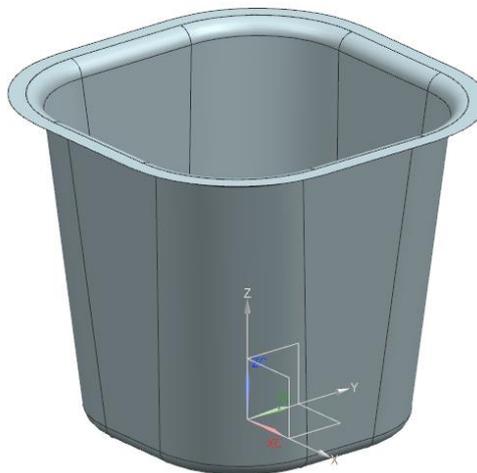


Рисунок 38 - Математическая модель детали «кювета»

С помощью инструмента в Siemens NX 9.0 «Анализ формуемости одношаговый», путем разворачивания поверхности детали на плоскость, был построен приближенный контур заготовки. Заготовка имеет форму круга диаметром 235 мм.

Для получения геометрии матрицы исходный фланец детали равный 5 мм был увеличен до 60 мм, таким образом размер детали с фланцем 240×240 мм.

Геометрия матрицы и рассчитанной заготовки показаны на рисунке 39.

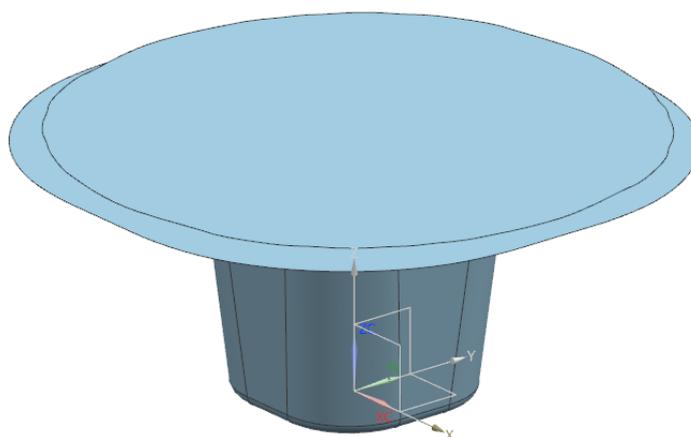


Рисунок 39- Геометрия матрицы и исходной заготовки

Посредством созданных с помощью Siemens NX 9.0 IGES – файлов, геометрия детали, матрицы и заготовки импортируется в программу AutoForm.

При генерировании процесса вытяжки геометрией пуансона послужила поверхности матрицы без фланца и радиусного закругления. Прижим представляет собой поверхность фланца. Геометрия полученного рабочего инструмента и заготовки представлена на рисунке 39.

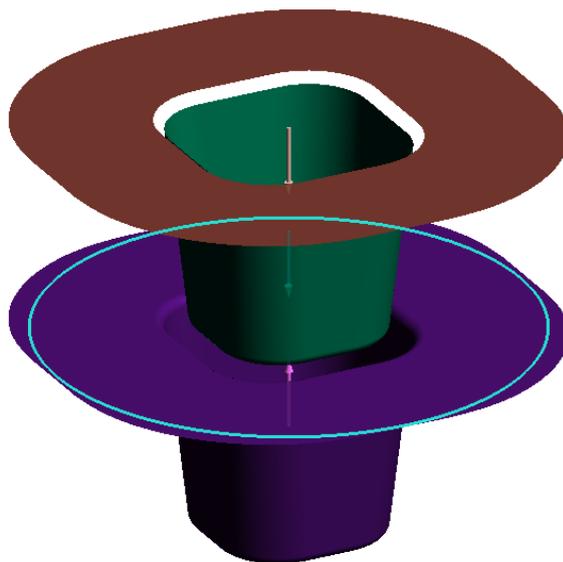


Рисунок 40 - Модели инструмента и заготовки в Autoform

Первоначально испытываемый материал сталь марки DC04 толщиной 1 мм, английский аналог стали марки 08Ю. Это материал имеется в базе материалов Autoform и имеет следующие показатели, определяющие характер штампуемости (рисунок 41). Затем испытывается магниевый сплав AZ31В-О толщиной 1 мм, его показатели задавались ранее.

Остальные настройки при задании процесса вытяжки задаются программой автоматически и оставляются без изменений. Коэффициент трения по контактными поверхностям равен 0,15. Скорости движения пуансона и прижима равны 1 мм/с. Начальное давление прижима относительно матрицы – 3 МПа.

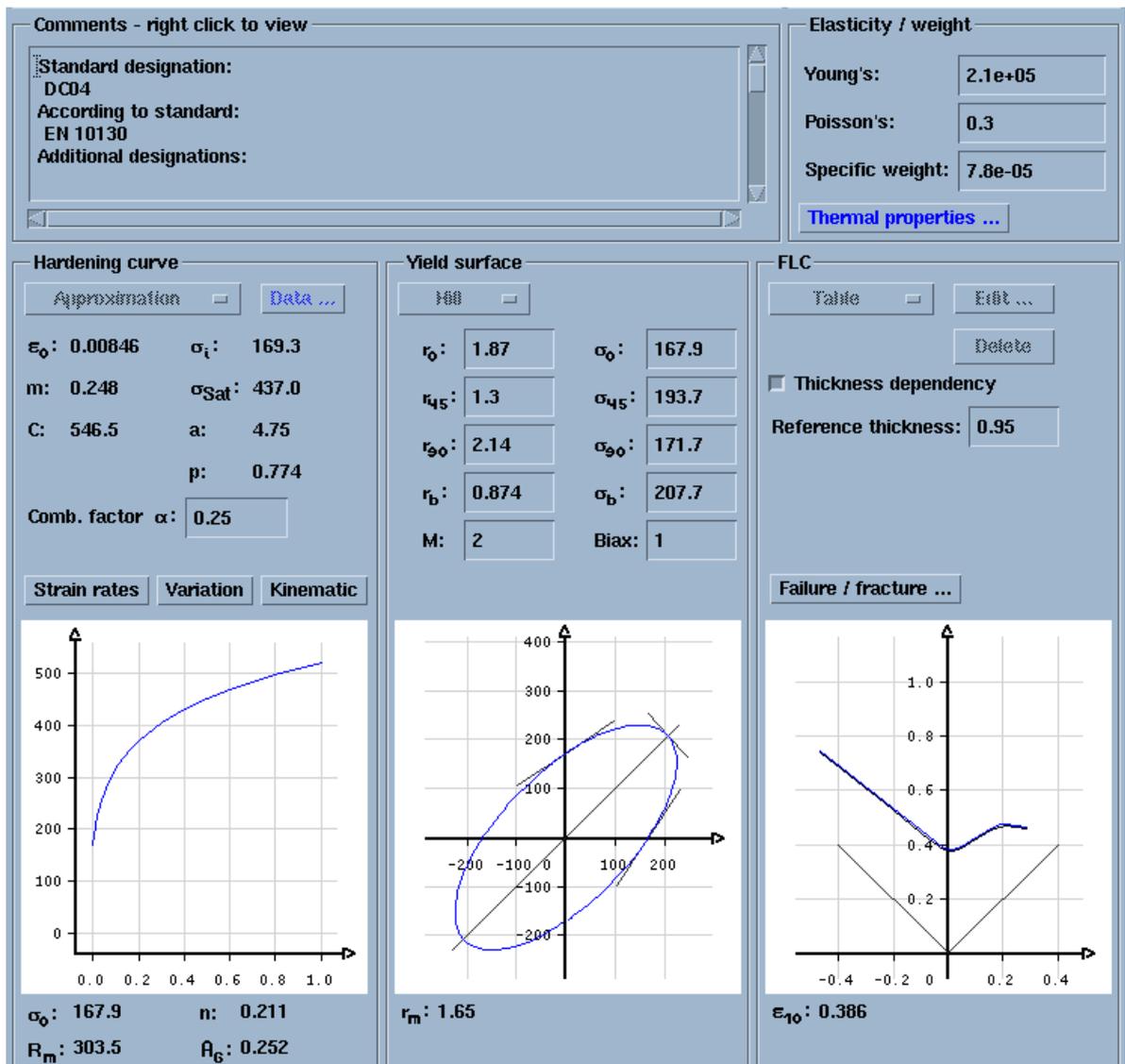


Рисунок 41 - Штамповочные показатели материала DC04

4.2 Моделирование процесса вытяжки коробчатой детали

В результате моделирования процесса вытяжки «кюветы», выяснилось, что максимальная вытягиваемая глубина в случае стали DC04 составляет примерно 33 мм (рисунок 42). На рисунке 43 представлена соответствующая диаграмма предельных деформаций при этом формоизменении.

Следует также заметить, что предельное утонение (рисунок 44), приводящее к разрушению детали, вначале появляется в диаметрально противоположных углах коробки в радиусной части пуансона (в области

двухосного растяжения) под углом 135° к направлению прокатки. Именно в этом направлении коэффициент анизотропии минимален и составляет 1,3.

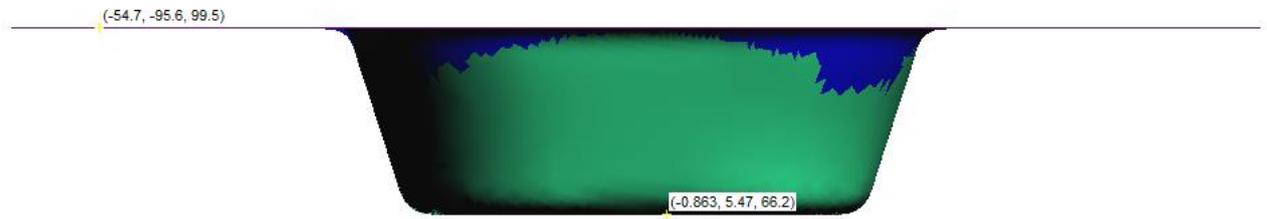


Рисунок 42 - Предельная глубина вытяжки кюветы из DC04

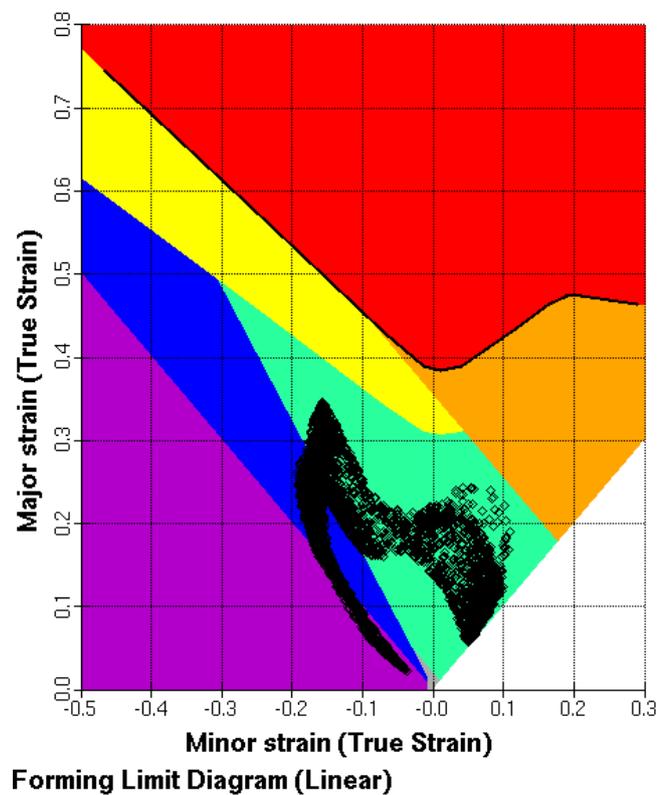


Рисунок 43 – FLD диаграмма при безопасном формоизменении

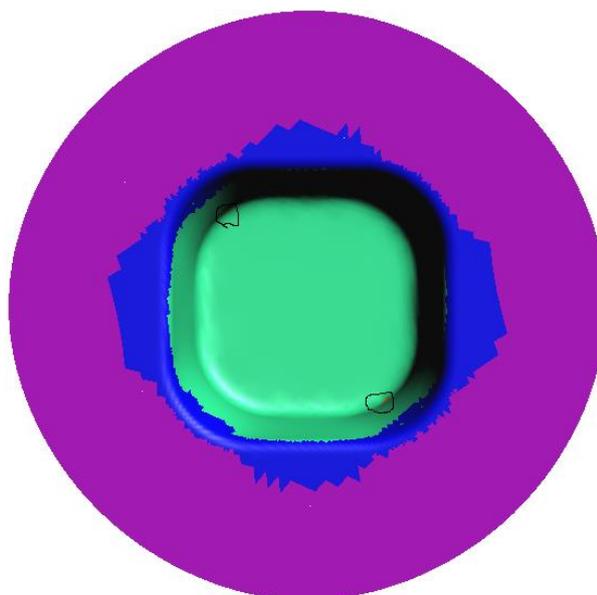


Рисунок 44 – Начало разрушения детали в углах коробки

При вытяжке детали с применением сплава AZ31B-O, вновь проявилась тенденция к разрушению в направлении наименьшего значения коэффициента анизотропии, в случае с магниевым сплавом – это направление прокатки, где $r=1,7$ (рисунок 45). Максимальная глубина вытяжки составила порядка 26 мм (рисунок 46).

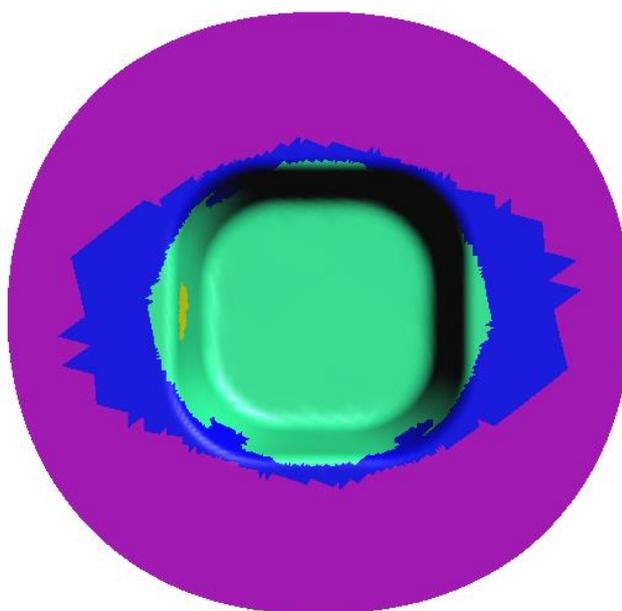


Рисунок 45 - Появление риска утонения в боковой стенке детали

В отличие от DC04, где разрушение происходит в радиусной части вследствие двухосного растяжения, разрушение магниевго сплава начинается в боковой стенке вследствие деформации сжатия с растяжением, о чем свидетельствует FLD-диаграмма (рисунок 47). При этом разрушение развивается по плоскостям боковых стенок, полного отрыва материала не происходит, а в перпендикулярном направлении две боковые стенки просто затягиваются в матричный проем. Такой характер разрушения магниевго сплава можно объяснить большой разницей между пределом текучести при сжатии и пределом текучести при растяжении. Вследствие этого можно сделать вывод, что области формоизменения с сжато-растянутой схемой деформации крайне опасны для сплава AZ31B-O.



Рисунок 46 – Предельная глубина вытяжки магниевго сплава AZ31B-O

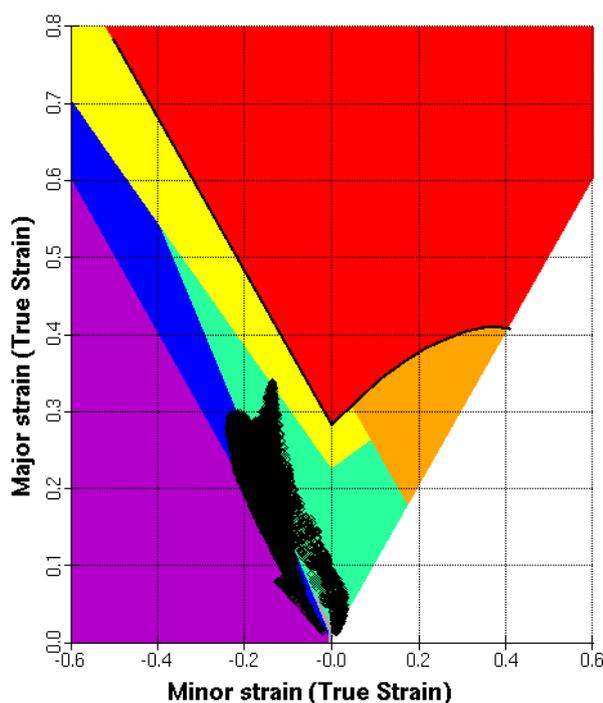


Рисунок 47 - FLD-диаграмма сплава AZ31B-O

4.3. Моделирование процесса вытяжки детали «панель капота наружная»

Кузовная деталь автомобиля «панель капота наружная» по назначению и требованиям, предъявляемым к поверхности кузовных деталей, относится к группе наружных деталей и представляет собой пологую криволинейную поверхность с неглубокими выштамповками. Главной характерной особенностью данной детали является незначительная деформация при вытяжке в силу малой кривизны поверхности.

В качестве окончательной формы заготовки используется трапецеидальная заготовка со срезанными двумя вершинами (рисунок 48). Ее размеры были найдены на основании равенства поверхности заготовки и готовой детали с припуском.

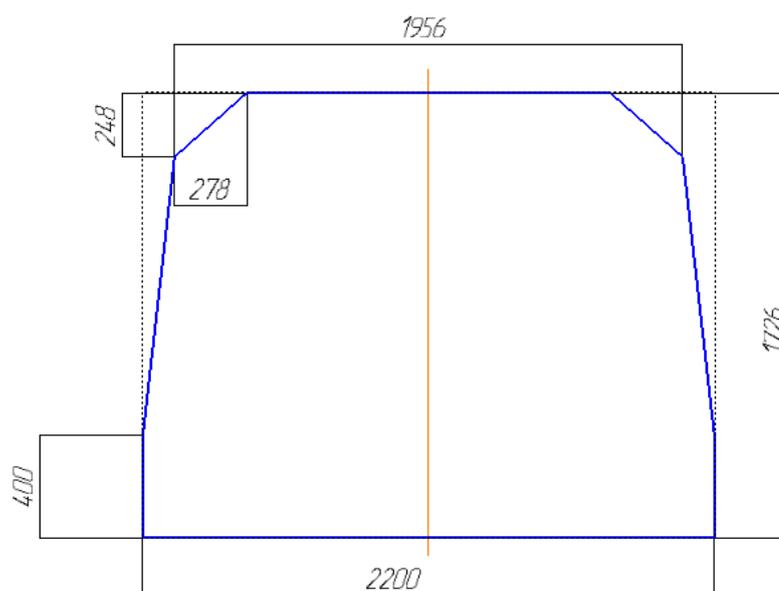


Рисунок 48 – Форма заготовки для детали «панель капота наружная»

Загруженная в AutoForm геометрия рабочего инструмента (матрица, пуансон, прижим) и заготовки представлена на рисунке 49. Форма проема матрицы идентична контуру детали, серповидная форма спереди и сзади, трапецеидальная – по бокам. Прижимная поверхность имеет пространственную криволинейную форму, приближенную по форме к готовой детали, что

обеспечивает наибольшую площадь соприкосновения с пуансоном и улучшает условия вытяжки. Максимальная глубина вытяжного перехода составляет порядка 110 мм, что позволяет добиться требуемых степеней деформации. Для обеспечения равномерного течения материала при вытяжке на матрице по всему контуру вытяжного перехода, за исключением угловых зон выполняются перетяжные ребра.

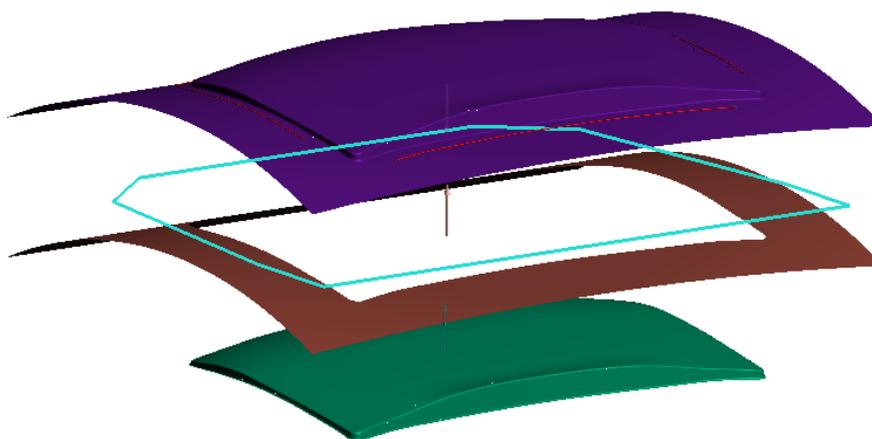


Рисунок 49 - Геометрия процесса вытяжки детали «панель капота наружная»

В результате моделирования процесса обратной вытяжки с использованием материала DC04, формоизменение на каждом этапе вытяжки получилось бездефектным. Линия обрезки проходит по поверхности детали и области с повышенным гофрообразованием и складками уходят в отход, не влияя на качество получаемого изделия (рисунок 50).

В результате моделирования процесса обратной вытяжки с использованием магниевого сплава AZ31B-O, при формоизменении в области наибольшей глубины вытяжки происходит разрыв вдоль боковой стенки. Максимальная полученная бездефектная глубина вытяжки составляет порядка 50 мм (рисунок 51).

Таким образом, для крупных и относительно глубоких кузовных деталей автомобиля применение магниевого сплава AZ31B не представляется возможным без применения дополнительных мер по увеличению пластичности,

например, подогрева заготовки и инструмента. Однако для лицевых деталей автомобиля такая мера не применима, ввиду высоких требований по качеству поверхности готовой детали.

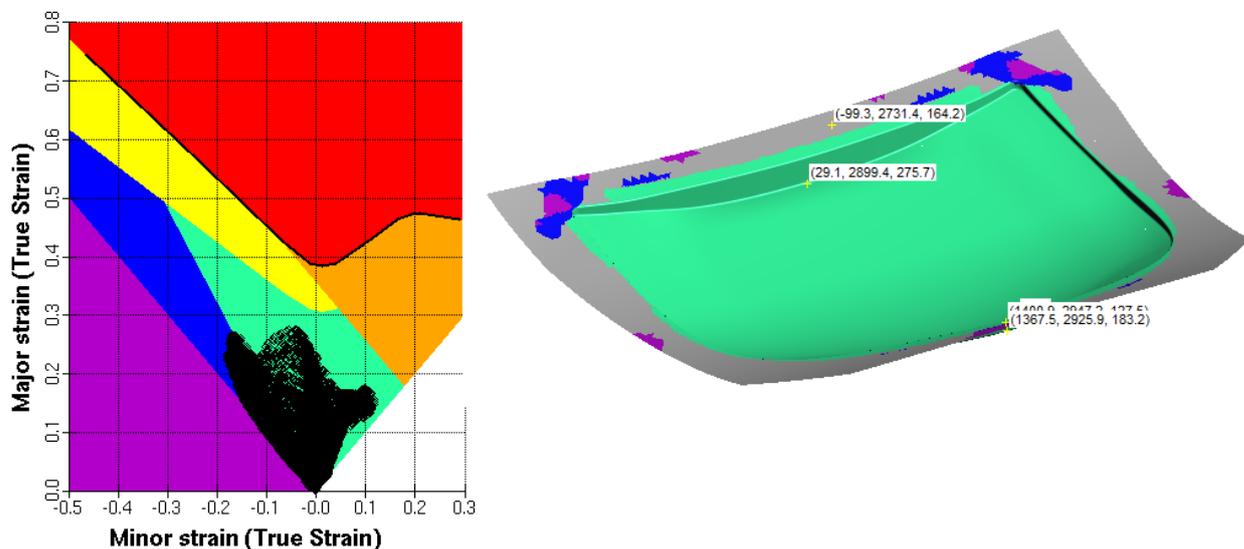


Рисунок 50 - Диаграмма предельных деформаций и области формоизменения DC04

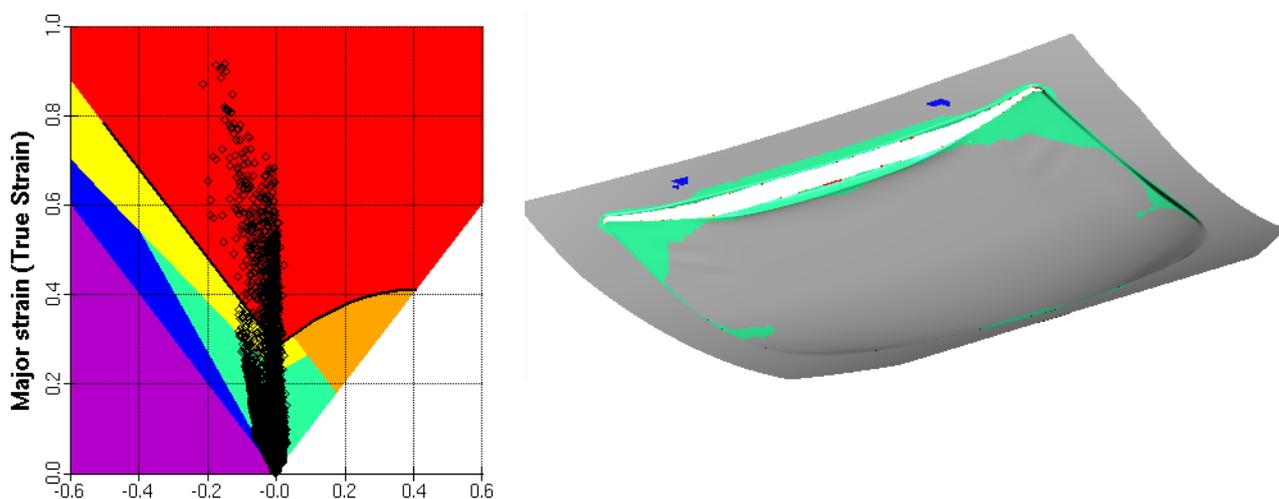


Рисунок 51 - Диаграмма предельных деформаций и области формоизменения магниевого сплава AZ31B

5. Экономическая эффективность

Организационно-экономическое обоснование целесообразности исследования в рамках данной бакалаврской работы заключается в следующем:

1. Определение трудоемкости и длительности проводимых работ.
2. Составление линейного плана-графика выполнения бакалаврской работы на протяжении всего процесса исследования.
3. Расчет затрат необходимых для проведения данного исследования.
4. Расчет экономической эффективности внедрения исследования.

Работы, осуществляемые в процессе исследования, разбиваются на определенные стадии и этапы и сводятся в таблицу 8.

Таблица 8 – Наименование стадий и содержание этапов бакалаврской работы

| № этапа | Наименование этапа | № этапа | Наименование этапов работы |
|---------|---|---------|---|
| 1 | Развитие конструкции автомобиля | 1.1 | Составление плана работы, постановка цели и задач |
| | | 1.2 | Тенденции в развитии конструкции автомобилей. |
| | | 1.3 | Новые материалы в автомобилестроении |
| | | 1.4 | Применение магниевых сплавов в автомобилестроении |
| 2 | Свойства и методы получения деформируемых магниевых сплавов | 2.1 | Анализ типов магниевых сплавов |
| | | 2.2 | Основные свойства деформируемых магниевых сплавов |
| | | 2.3 | Поведение магниевых сплавов при деформации |
| | | 2.4 | Получение листового полуфабриката |
| | | 2.5 | Составление плана дальнейших исследований |
| 3 | Анализ механических и технологических свойств магниевых сплавов | 3.1 | Анализ механических и технологических испытаний для оценки штампуемости материала |
| | | 3.2 | Механическое испытание магниевого сплава AZ31B-O |
| | | 3.3 | Компьютерное моделирование механических испытаний |
| | | 3.4 | Компьютерное моделирование технологических испытаний |
| | | 3.5 | Построение графиков по результатам испытаний |
| | | 3.6 | Анализ графиков, формулировка выводов и рекомендаций |

Продолжение таблицы 8

| | | | |
|---|--|-----|---|
| 4 | Компьютерное моделирование процесса штамповки детали | 4.1 | Построение математических моделей штампуемой детали и рабочего инструмента в Siemens NX 9.0 |
| | | 4.2 | Работа с полученными моделями в AutoForm plus R3.1 |
| | | 4.3 | Моделирование процесса вытяжки детали |
| | | 4.4 | Построение графиков по результатам моделирования |
| | | 4.5 | Анализ графиков, формулировка выводов и рекомендаций |
| 5 | Оформление результатов БР | 5.1 | Подведение итогов работы |
| | | 5.2 | Окончательное оформление расчетно-пояснительной записки и графического материала |

5.1 Определение трудоемкости и длительности выполнения каждого этапа работ

Ожидаемая трудоемкость выполнения каждого этапа работы определяется по эмпирической формуле (9):

$$T_{\text{ож}} = \frac{3T_{\text{min}} + 2T_{\text{max}}}{5}, \quad (9)$$

где T_{min} — оптимистическая (наименьшая) трудоемкость; T_{max} — пессимистическая (наибольшая) трудоемкость.

Определяется длительность каждого этапа работ по формуле (10):

$$T_{\text{эт}} = \frac{T_{\text{ож}}}{\mathbf{Ч}} \text{ (дн.)}, \quad (10)$$

где $\mathbf{Ч}$ – численность исполнителей на данном этапе.

Суммарная длительность бакалаврской работы находится по формуле (11):

$$T_{\text{нир}} = \sum T_{\text{эт}} \quad (11)$$

Удельное значение каждого этапа рассчитываем по формуле (12):

$$Y_{\text{д.эт.}} = \frac{T_{\text{эт}}}{T_{\text{бр}}} \cdot 100\% \quad (12)$$

Результаты расчетов заносятся в таблицу 9.

Таблица 9 – Сводная таблица результатов расчетов

| № п/п | T _{min} , дн | T _{max} , дн | Удельное значение этапа % | Нарастание технической готовности | Ожидаемая трудоемкость, дн | Количество одновременно работающих | Длительность этапа T _{эт} , дн |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|---|
| 1.1 | 1 | 2 | 1,80 | 1,80 | 1,5 | 2 | 1 |
| 1.2 | 1 | 2 | 2,70 | 4,50 | 1,5 | 1 | 1,5 |
| 1.3 | 2 | 3 | 4,51 | 9,01 | 2,5 | 1 | 2,5 |
| 1.4 | 2 | 3 | 4,51 | 13,52 | 2,5 | 1 | 2,5 |
| 2.1 | 1 | 2 | 2,70 | 16,22 | 1,5 | 1 | 1,5 |
| 2.2 | 3 | 4 | 3,60 | 19,82 | 3,5 | 2 | 2 |
| 2.3 | 2 | 4 | 2,70 | 22,52 | 3 | 2 | 1,5 |
| 2.4 | 2 | 3 | 4,51 | 27,03 | 2,5 | 1 | 2,5 |
| 2.5 | 1 | 2 | 1,80 | 28,83 | 1,5 | 2 | 1 |
| 3.1 | 1 | 3 | 1,80 | 30,63 | 2 | 2 | 1 |
| 3.2 | 2 | 4 | 5,40 | 36,03 | 3 | 1 | 3 |
| 3.3 | 3 | 6 | 8,11 | 44,14 | 4,5 | 1 | 4,5 |
| 3.4 | 3 | 6 | 8,11 | 52,25 | 4,5 | 1 | 4,5 |
| 3.5 | 2 | 6 | 3,60 | 55,85 | 4 | 2 | 2 |
| 3.6 | 2 | 4 | 2,70 | 58,55 | 3 | 2 | 1,5 |
| 4.1 | 3 | 6 | 8,11 | 66,66 | 4,5 | 1 | 4,5 |
| 4.2 | 2 | 6 | 7,21 | 73,87 | 4 | 1 | 4 |
| 4.3 | 4 | 7 | 9,91 | 83,78 | 5,5 | 1 | 5,5 |
| 4.4 | 3 | 6 | 4,51 | 88,29 | 4,5 | 2 | 2,5 |
| 4.5 | 2 | 4 | 2,70 | 90,99 | 3 | 2 | 1,5 |
| 5.1 | 1 | 2 | 1,80 | 92,79 | 1,5 | 2 | 1 |
| 5.2 | 3 | 5 | 7,21 | 100,00 | 4 | 1 | 4 |
| $T_{\text{бр}} = 55,5$ | | | | | | | |

В результате расчетов длительность выполнения бакалаврской работы составила 55,5 дней. Для наглядности хода выполнения работ строиться линейный план-график.

5.2 Построение линейного план-графика

По рассчитанным данным, путем последовательного отложения отрезков, равных длительности этапов, строится линейный план-график (рисунок 51).

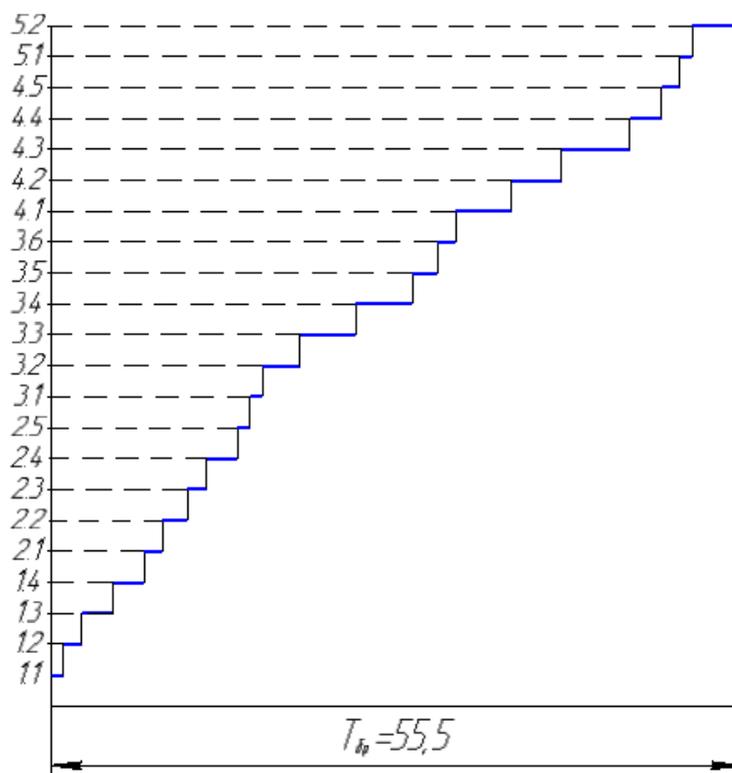


Рисунок 51 – Линейный план-график выполнения бакалаврской работы

5.3 Расчет затрат на проведение бакалаврской работы

Таблица 10 представляет собой таблицу численности исполнителей на каждом этапе работ.

Таблица 10 – Численность исполнителей по этапам работ

| № этапа | Техник | Руководитель | Всего (чел) |
|---------|--------|--------------|-------------|
| 1.1 | 1 | 1 | 2 |
| 1.2 | 1 | - | 1 |
| 1.3 | 1 | - | 1 |

Продолжение таблицы 10

| | | | |
|-----|---|---|---|
| 1.4 | 1 | - | 1 |
| 2.1 | 1 | - | 1 |
| 2.2 | 1 | 1 | 2 |
| 2.3 | 1 | 1 | 2 |
| 2.4 | 1 | - | 1 |
| 2.5 | 1 | 1 | 2 |
| 3.1 | 1 | 1 | 2 |
| 3.2 | 1 | - | 1 |
| 3.3 | 1 | - | 1 |
| 3.4 | 1 | - | 1 |
| 3.5 | 1 | 1 | 2 |
| 3.6 | 1 | 1 | 2 |
| 4.1 | 1 | - | 1 |
| 4.2 | 1 | - | 1 |
| 4.3 | 1 | - | 1 |
| 4.4 | 1 | 1 | 2 |
| 4.5 | 1 | 1 | 2 |
| 5.1 | 1 | 1 | 2 |
| 5.2 | 1 | - | 1 |

В таблице 11 рассчитываются расходы на заработную плату для исполнителей работ.

Таблица 11 – Расходы на заработную плату

| Исполнители | Месячный оклад, руб. | Средняя дневная ставка, руб. | Время занятости, дн. | Сумма зарплаты, руб. |
|---|----------------------|------------------------------|----------------------|----------------------|
| Техник | 6000 | 82,0 | 55,5 | 4551 |
| Руководитель | 24000 | 653,0 | 15 | 9795 |
| Суммарная заработная плата ЗПЛ _{бр} , руб. | | | | 14346 |

Отчисления на социальные нужды вычисляются по формуле (13):

$$O_{\text{с.н.}} = \frac{N_{\text{соц.}} \cdot \text{ЗПЛ}_{\text{бр}}}{100} = \frac{28 \cdot 14346}{100} = 4016,88 \text{ руб.}, \quad (13)$$

где $N_{\text{соц.}}$ – норма отчислений на социальные нужды, 28%.

Общие расходы на бакалаврскую работу определяются по формуле (14):

$$З_{\text{бр}} = \frac{(\text{ЗПЛ}_{\text{бр}} + O_{\text{с.н.}}) \cdot 100}{43} = \frac{(14346 + 4016,88) \cdot 100}{43} = 42704 \text{ руб.} \quad (14)$$

Из проделанных расчетов видно, что затраты на бакалаврскую работу составляют 42704 руб., при длительности ее выполнения 55,5 дней.

5.4 Расчет экономической эффективности

Годовая экономия от снижения расхода топлива вычисляется по формуле (15):

$$\mathcal{E}_1 = (0,1 \cdot Z_{\text{г}} \cdot (g_{\text{тб}} - g_{\text{тн}}) \cdot \text{Ц}_{\text{т}} \cdot K_{\text{т}}) \cdot V, \quad (15)$$

где $Z_{\text{г}}$ – средний годовой пробег автомобиля, тыс. км;

$g_{\text{тб}}, g_{\text{тн}}$ – расход топлива базового и модернизированного автомобиля, л/100 км;

$\text{Ц}_{\text{т}}$ – цена топлива за 1 л;

$K_{\text{т}}$ – коэффициент повышения расхода топлива в зимний период, $K_{\text{т}} = 1,04$;

V – средняя скорость автомобиля, км/ч.

$$\mathcal{E}_1 = (0,1 \cdot 15 \cdot (8 - 7) \cdot 34,5 \cdot 1,04) \cdot 80 = 4306 \text{ руб.}$$

Эффект от снижения массы материала определяется по формуле (16):

$$\mathcal{E}_2 = \Delta m \cdot \text{Ц}_{\text{м}}, \quad (16)$$

где Δm – снижение массы автомобиля, кг;

$\text{Ц}_{\text{м}}$ – цена стального проката, руб/кг.

$$\mathcal{E}_2 = 135 \cdot 120 = 16200 \text{ руб.}$$

Суммарный экономический эффект определяется формулой (17):

$$\sum \mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 = 16200 + 4306 = 20506 \text{ руб.} \quad (17)$$

Срок окупаемости нового материала вычисляется по формуле (5.10):

$$T_{\text{ок}} = \frac{42704}{20506} \approx 2 \text{ года} \quad (18)$$

В результате внедрения нового материала затраты на исследовательскую работу составили 42704 руб, а экономический эффект от снижения расхода топлива и массы материала составил 20506 руб., при сроке окупаемости затрат в течение двух лет.

6. Безопасность и экологичность технического объекта

6.1 Конструктивно-технологическая характеристика объекта

Таблица 12 - Технологический паспорт объекта

| № п/п | Рабочий процесс | Вид выполняемых работ | Наименование должности работника, выполняющего процесс | Оборудование, техническое устройство, приспособление | Материалы, вещества |
|-------|-----------------|-------------------------------------|--|---|---------------------|
| 1 | Работа на ПЭВМ | Поиск и считывание информации | студент учреждения высшего образования | Портативная ПЭВМ (ноутбук), периферийные устройства (многофункциональное устройство, роутер, зарядное устройство) | Пластмасса, металл |
| | | Компьютерное моделирование | | | |
| | | Ввод информации | | | |
| | | Вывод информации с помощью принтера | | | |

6.2 Идентификация профессиональных рисков

Таблица 13 – Идентификация профессиональных рисков

| № п/п | Вид выполняемых работ | Опасный и /или вредный производственный фактор | Источник опасного и /или вредного производственного фактора |
|-------|--|--|---|
| 1 | Выполнение исследовательской бакалаврской работы | Повышенные уровни статического электричества и | Ноутбук и периферийные устройства |

Продолжение таблицы 13

| | | | |
|---|--|---|---|
| 1 | Выполнение исследовательской бакалаврской работы | Пониженный или повышенный уровень освещенности рабочей зоны | Источник искусственного освещения |
| | | Недостаток или отсутствие естественного света | - |
| | | Прямая и отраженная блескость | Дисплей ноутбука (глянцевый) и другие рабочие поверхности |
| | | Пониженная или повышенная яркость и контрастность | Дисплей ноутбука |
| | | Повышенный уровень шума | Многофункциональное устройство |
| | | Содержание в воздухе рабочей зоны оксида углерода, озона, аммиака, фенола, формальдегида и полихлорированных фенилов; | Ноутбук и периферийные устройства |
| | | Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны | Ноутбук и периферийные устройства |
| | | Пониженная влажность воздуха рабочей зоны | Ноутбук и периферийные устройства |
| | | Повышенное содержание в воздухе положительных аэроионов | Ноутбук и периферийные устройства |

Продолжение таблицы 13

| | | | |
|---|--|---|-----------------------------------|
| 1 | Выполнение исследовательской бакалаврской работы | Повышенное значение напряжения в электрической цепи | Зарядное устройство |
| | | Повышенная напряженность электрического поля | Ноутбук и периферийные устройства |
| | | Монотонность трудового процесса | - |
| | | Статические нагрузки | - |
| | | Нервно-эмоциональные перегрузки | - |
| | | Умственное перенапряжение | - |
| | | Перенапряжение зрительных анализаторов | - |

6.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 14 – Организационно-технические методы и технические средства снижения негативного воздействия опасных и вредных производственных факторов

| № п/п | Опасный и / или вредный производственный фактор | Организационно-технические методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора | Средства индивидуальной защиты работника |
|-------|---|---|--|
| 1 | Повышенные уровни статического электричества и электромагнитных излучений | Применение защитных очков; | Защитные очки |
| | | Сохранение оптимального расстояния между пользователем и компьютером | - |
| | | Рациональное расположение источников электромагнитных излучений | - |

Продолжение таблицы 14

| | | | |
|---|---|---|---------------------------------|
| 1 | Повышенные уровни статического электричества и электромагнитных излучений | Заземление ПЭВМ | Увлажнитель воздуха |
| | | Проветривание и влажная уборка помещения | |
| | | Применение увлажнителей воздуха | |
| 2 | Пониженный или повышенный уровень освещенности рабочей зоны | Использование настольных ламп с более естественным светом | Люминисцентная настольная лампа |
| 3 | Недостаток или отсутствие естественного света | Соответствующая расположению рабочего места и оконных проемов (естественный свет должен падать на рабочий стол слева) | - |
| 4 | Прямая и отраженная блескость | Оптимальная направленность излучаемого осветительными приборами светового потока | - |
| 5 | Пониженная или повышенная яркость и контрастность | Регулирование яркости и контрастности дисплея | - |
| 6 | Повышенный уровень шума | Расположение многофункционального устройства на максимально возможном расстоянии | - |
| 7 | Содержание в воздухе рабочей зоны оксида углерода, озона, аммиака, фенола, формальдегида и полихлорированных фенилов; | Систематическое проветривание и влажная уборка помещения | - |
| | | Заправка тонерного картриджа лазерного принтера только в специализированных помещениях | |
| 8 | Повышенная запыленность | Регулярное проветривание и влажная уборка помещения | - |

Продолжение таблицы 14

| | | | |
|----|---|--|--|
| 9 | Пониженная влажность воздуха рабочей зоны | Регулярное проветривание и влажная уборка помещения | Увлажнитель воздуха |
| | | Применение увлажнителей воздуха | |
| 10 | Повышенное содержание в воздухе положительных аэроионов | Регулярное проветривание и влажная уборка помещения | |
| | | Использование ионизаторов воздуха (насыщение воздуха отрицательно заряженными ионами) | |
| 11 | Повышенное значение напряжения в электрической цепи | Заземление ПЭВМ | Розетка и вилка шнура электропитания с заземляющим контактом |
| 12 | Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы | Соответствующее показателям эргономики оборудование рабочего места пользователя (размеры стола, стула) | |
| | | Наличие перерывов при работе с проведением физкультурных пауз | |
| | | Проветривание помещения | |

6.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Таблица 15 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

| № п/п | Участок, подразделение | Оборудование | Класс пожара | Опасные факторы пожара | Сопутствующие проявления факторов пожара |
|-------|------------------------|--|--------------|---|---|
| 1 | Жилая комната | Портативная ПЭВМ и периферийные устройства | В, Е | Пламя и искры; повышенная температура окружающей среды; повышенная концентрация токсичных продуктов | Вынос (замыкание) высокого электрического напряжения на |

Продолжение таблицы 15

| | | | | | |
|---|---------------|--|------|--|--|
| 1 | Жилая комната | Портативная ПЭВМ и периферийные устройства | В, Е | горения и термического разложения; пониженная концентрация кислорода; снижение видимости в дыму (в задымленных пространственных зонах) | токопроводящие части оборудования, изделий и иного имущества; образующиеся радиоактивные и токсичные вещества и материалы, попавшие в окружающую среду |
|---|---------------|--|------|--|--|

Таблица 16 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

| Наименование технического объекта | Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий | Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты |
|---|---|--|
| Портативная ЭВМ и периферийные устройства | Соблюдение техники безопасности при работе на ПЭВМ; | Работоспособное состояние ПЭВМ и периферийных устройств |
| | Соблюдение температурного режима работы ПЭВМ; | |
| | Регулярная проверка состояния электрооборудования ПЭВМ | |

6.5. Обеспечение экологической безопасности технического объекта

Таблица 17 – Идентификация экологических факторов технического объекта

| Наименование технического объекта, производственно- технологического процесса | Структурные составляющие технического объекта, производственно- технологического процесса (производственного здания или сооружения по функциональному назначению, технологические операции, оборудование), энергетической установки, транспортного средства и т.п. | Негативное воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду) при утилизации | Негативное воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения) | Негативное воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра) (образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительного покрова и т.д.) |
|--|--|--|--|--|
| ПЭВМ | Портативная ЭВМ и периферийные устройства | Интенсивное выделение вредных веществ, испарений, газов | Загрязнение продуктами разложения полимерных материалов | |

Таблица 18 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

| Наименование технического объекта | ПЭВМ |
|--|---|
| Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу | - использование современных безотходных методов утилизации - повышенный контроль за процессом утилизации |
| Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу | - использованных технологических материалов |
| Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу | |

В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» приведена характеристика процесса работы за ПЭВМ, виды производимых операций, должности работников, используемое оборудование, материалы (таблица 12).

Проведена идентификация профессиональных рисков при работе на ПЭВМ. Опасные и вредные производственные факторы описаны в таблице 13

Разработаны методы и средства снижения профессиональных рисков (таблица 14).

Проведена идентификация класса пожара и опасных факторов пожара (таблица 15). Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности при работе на ПЭВМ (таблица 16).

Идентифицированы экологические факторы (таблица 17) и разработаны мероприятия по обеспечению экологической безопасности технического объекта (таблица 18).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что использование магниевых сплавов в конструкции легкового автомобиля позволяет снизить массу автомобиля на 135 кг, а расход топлива на 12%.

2. Определено что наиболее перспективным магниевым сплавом для листовой холодной штамповки является материал AZ31B-O с выраженной анизотропией свойств.

3. С помощью численных методов, выявлено что модель материала Барлата наиболее точно описывает поведение материалов, используемых при операциях листовой штамповки.

4. Коэффициенты анизотропии магниевое сплава AZ31B-O: $R_0 = 1,7$; $R_{45} = 2,6$; $R_{90} = 4,3$ обеспечивают высокую пластичность при двухосном растяжении и недостаточную при сжато-растянутой схеме деформации.

5. Пластические свойства магниевое сплав AZ31B-O при комнатной температуре не позволяют использовать его для вытяжки крупных и глубоких листовых деталей.

6. Экономическая эффективность данного исследования составила 20506 руб. при сроке окупаемости 2 года.

В настоящее время использование листовых магниевых сплавов в качестве кузовных деталей в серийно-выпускаемых автомобилях является нерешенной задачей по целому ряду причин: большие производственные затраты при получении листов и проведении штамповочных операций, недостаточность исследований, по особенностям пластической деформации ГПУ металлов, низкая формруемость листа при комнатной температуре, а также большие затраты на осуществление коррозионной защиты.

В связи с этим необходимо разрабатывать новые и малозатратные технологии получения магниевых листов, получать новые магниевые сплавы, обладающие наилучшими пластическими свойствами, набирать опыт по

созданию новых технологий штамповки и методов коррозионной защиты с обеспечением минимальных производственных затрат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основы конструкции автомобиля : учебник для вузов / А. М. Иванов, А. Н. Солнцев, В. В. Гаевский [и др.]. – М. : ООО Книжное издательство «За рулем», 2005. – 336 с.: ил.
2. Магниеые сплавы. Справочник. Ч. 1. Металловедение магния и его сплавов. Области применения / М. Б. Альтман [и др.]. – М. : «Металлургия», 1978. 232 с.
3. Аверкиев, Ю. А. Технология холодной штамповки: учебник для вузов по специальностям «Машины и технология обработки металлов давлением и «Обработка металлов давлением» / Ю. А. Аверкиев, А. Ю. Аверкиев. – М. : Машиностроение, 1989. – 304 с.: ил.
4. Зубцов, М. Е. Листовая штамповка: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и технология обработки металлов давлением» / М. Е. Зубцов, 3-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. – 432 с., ил.
5. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский, 6-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с., ил.
6. ГОСТ 10510-80. Металлы. Метод испытания на выдавливание листов и лент по Эриксену. – Введ. 1980-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 8 с., ил.
7. ГОСТ 11701-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение тонких листов и лент. – Введ. 1986-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 15 с., ил.
8. Hasenpouth Dan. Tensile High Strain Rate Behavior of AZ31B Magnesium Alloy Sheet: A thesis presented to the University of Waterloo in fulfilment of the thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Mechanical Engineering / Dan Hasenpouth. – Waterloo, Ontario, Canada, 2010. – 212 с.

9. Полмеар, Ян. Легкие сплавы от традиционных до нанокристаллов / Я. Полмеар; перевод с английского Ю.Л. Цвирко ; [автор предисловия к первому изданию И.Дж. П. Мельбурн]. – М. : Техносфера, 2008. – 463 с.
10. LS-DYNA. Руководство пользователя. Часть 1 / Перевод Б.Г. Рубцов. – Livermore Software Technology Corporation, 2001. – 1421 с.
11. Магниеые сплавы. Справочник. Ч. 2. Технология производства и свойства отливок и деформированных полуфабрикатов / Е. Г. Антонов, Б. А. Арбузов, В. М. Бабкин [и др.]. – М. : «Металлургия», 1978. 296 с.
12. Черняева, Т. П. Характеристики ГПУ-металлов, определяющие их поведение при механическом, термическом и радиационном воздействии / Т. П. Черняева, В. М. Грицина // Научно-технический комплекс «Ядерный топливный цикл» Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков, Украина – 27 с.
13. Plunkett, Brian W. Plastic anisotropy of hexagonal closed packed metals: a dissertation presented to the graduate school of the university of the university of Florida in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. University of Florida, 2005 – 196 с.
14. Electromagnetic Forming of AZ31B Magnesium Alloy Sheet: Experimental Work and Numerical Simulation / I. Ulacia, J. Imbert, C. P. Salisbury, A. Arroyo, I. Hurtado, M. J. Worswick. - University of Mondragon, Spain, 2008 – 10 с.
15. Литье и прокатка магниевых сплавов / Р. Кавалла, М. Ульман, К. Шмидт, К. Нэ -10 с.
16. Magnesium vision 2020: a north american automotive strategic vision for magnesium / United States automotive material partnership, A consortium of the United States Council for automotive research, 2004 – 46 с.
17. Zarandi, F. Magnesium Sheet; Challenges and Opportunities / F. Zarandi and Stephen Yue. – McGill University, Canada, 2011 – 25 с.
18. B90/B90M – 13. Standard Specification for Magnesium-Alloy Sheet and Plate. – 8 с.

19. Hardening evolution of AZ31B Mg sheet / X. Y. Lou, M. Li, R. K. Boger, S. R. Agnew, R. H. Wagoner. – ScienceDirect, Journal of Plasticity 23 (2007) – 44-86 c.
20. Sivanandini, M. Formability of Magnesium Alloys / M. Sivanandini, Dr. S. S. Dhami, Dr. B. S. Pabla. - International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), 2012. – 8 c.
21. Kulekci, M. K. Magnesium and its alloy applications in automotive industry / M. K. Kulekci. – Springer Verlag London Limited, 2007. – 15 c.