

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»

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Системы автоматизированного проектирования в машиностроении

(профиль)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему Разработка методики проектирования технологических процессов
листовой штамповки изделий, соответствующих нормам точности в системе

Студент(ка)

В.А. Лапушкин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

Е.Н. Почекуев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

САЕ

Руководитель программы

к.т.н.,

доцент

Е.Н.

Почекуев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« » 20 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Ельцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« » 20 г.

Тольятти 2016

Содержание

Введение	4
Глава 1. Анализ обеспечения качества изделия на стадии их проектирования	
1.1 Автоматизация проектирования - метод повышения качества изделий.....	6
1.2 Анализ актуальности, научная новизна.....	10
1.3 Формулировка цели.....	11
1.4 Постановка задач.....	13
Глава 2. Анализ точности изделий листовой штамповки для формоизменяющих операций листовой штамповки.	
2.1 Проблемы получения точных изделий в листовой штамповке	14
2.2 Методы определения показателей точности изделий.	21
2.3 Анализ точности изделий листовой штамповки получаемых операцией гибки.....	26
2.4 Анализ точности изделий листовой штамповки получаемых операцией вытяжки.....	29
2.5 Анализ точности изделий листовой штамповки получаемых операцией отбортовки.....	32
2.6 Анализ способ повышения точности изделий в листовой штамповке в процессе проектирования технологии изделия.....	33
2.7 Выводы.....	34
Глава 3. Анализ существующих методов управления точностью изделий получаемых формоизменяющими операциями листовой штамповки в системах САПР	

3.1 Методы управления точностью изделий в САД системах.....	35
3.2 Использование программного комплекса CAE Autoform для анализа точности в формоизменяющих операциях штамповки.....	37
3.2.1 Оценка точности изделий, получаемых гибкой в ПО Autoform.....	39
3.2.2 Оценка точности изделий, получаемых вытяжкой в ПО Autoform.....	40
3.3 Способы компенсации пружинения для повышения точности изделий в приложении Autoform Compensator.....	41
3.4 Выводы.....	43
Глава 4. Разработка методики управления точностью получаемых изделий листовой штамповки в приложении Autoform Sigma для типовой детали.	
4.1 Методики управления точностью получаемых изделий листовой штамповки в приложении Autoform Sigma для детали ветровая стойка...49	
4.2 Статистический анализ влияния переменных процесса штамповки на пружинение изделия.	62
4.3 Статистический анализ чувствительности процесса пружинения в зависимости от факторов варьирования.....	64
4.4 Оптимизация процесса штамповки типовой детали по критерию минимального пружинения.....	67
Общие итоги и выводы.....	70

Список литературы.....72

Приложения.....

75

Введение

Тенденции развития автомобилестроительной промышленности характеризуются повышением требований к качеству и эксплуатационным свойствам деталей при снижении себестоимости их производства. Это стимулирует разработку высокоэффективных технологий, соответствующих указанным требованиям и реализующих экономию материальных и энергетических ресурсов, а также трудовых затрат. Процессы обработки металлов давлением (ОМД), в частности, листовая штамповка, относятся к числу высокоэффективных, экономичных способов изготовления изделий.

Главной составляющей конкурентоспособности является качество продукции. Качество является многосторонней категорией. Главной её составляющей качества является точность изделий. Поэтому проблема достижения необходимой точности параметров размерных связей ставится на одно из ключевых мест.

Помимо ещё одной важной составляющей конкурентоспособности относятся затраты на изделие, а также временной фактор от потребности в готовом изделии до момента, когда потребность удовлетворена. Отсюда возникает проблема: при заданном уровне качества и цене изделия минимизировать указанный промежуток времени.

Из рассмотренного опыта многих высокоразвитых стран в данной сфере, выяснилось, что важнейшим организационным механизмом является системность в процессе обеспечения необходимого уровня качества. Это нашло отражение во многочисленных нормативах и международных стандартах (например, пакет стандартов ISO 9000). В связи с этим, речь пойдёт не просто об обеспечении точности, а о системном подходе к решению данной проблемы. К примеру, эта тенденция проявилась на всемирных выставках машиностроения в г. Чикаго и в г. Париже.

Точность изделий определяется большим набором факторов и определяется на разных этапах производственного цикла изделий. Одним из важнейших периодов "жизни изделия" является его разработка. В период технической подготовки закладывается фундамент качества изделия и методы управления его показателями точности.

Отсюда основная цель работы: разработка методик проектирования технологических процессов листовой штамповки изделий, соответствующих нормам точности в системе САЕ.

Глава 1 Анализ обеспечения качества изделия на стадии их проектирования.

1.1 Автоматизация проектирования метод-повышения качества изделий

Перспективным путём противостояния столь жёстким требованиям конкурентного развития автомобилестроения может служить, комплексная автоматизация, охватывающая все этапы жизненного цикла изделия. Важной составляющей решения рассматриваемой проблемы является комплексное управление процессом обеспечения точности.

Автоматизация представляет собой двуединую задачу, которая предполагает «наращивание» не только «физических», но и «интеллектуальных» возможностей человека. Автоматизация «интеллектуальных» способностей специалистов представляет одно из центральных звеньев в цепи наращивания интеллектуального потенциала, как одной из основных предпосылок развития промышленности. Несмотря на высокий уровень указанного потенциала, в условиях быстрой миграции специалистов в непроизводственные сферы его падение может привести к необратимым последствиям. Отсюда, все в большей степени возникает проблема, сохранения накопленной информации в различных базах данных и реализации алгоритмов создания качественной продукции на основе современной вычислительной техники и программного обеспечения. В контексте рассматриваемой проблемы это означает поиск путей сохранения и развития знаний в деле обеспечения требуемой точности изделий.

В общетеоретическом плане можно выделить три базовых пути сохранения знаний:

- Твёрдая копия («пассивная» форма знаний - книги, специальная литература, справочники, нормативы, документированные процессы и т.д.);

- Предметные программные средства (программы, автоматизирующие в данной предметной области деятельность специалистов, в которых с той или иной степенью «жесткости» зафиксирован прошлый опыт);

- Специализированные программные средства (программы, которые ориентированы на фиксацию и пополнение прошлого опыта - различные базы данных, гипертексты, информационно-поисковые системы и т.д.).

Из сказанного следует, что проблема обеспечения требуемой точности в сложившихся условиях не только не потеряла свою актуальность, но напротив, изменившись качественно, приобрела новое содержание и ещё большую остроту.

Из всей рассматриваемой проблемной области, связанной с обеспечением качества, выделим:

- объект исследования - процесс комплексного обеспечения точности параметров изделий и процесса,

- предмет исследования - изделия машиностроения, главным образом, изготавливаемые на оборудовании для листовой штамповки.

Анализ существующих подходов к решению проблемы обеспечения точности свидетельствует о глубоких исследованиях, выполненных в этом направлении. Однако изучению были подвергнуты, главным образом, отдельные этапы жизненного цикла изделия. В тоже время процесс обеспечения точности един и лишь организационно разделён на этапы, причём начинает он выполняться уже на ранних фазах жизненного цикла изделия. Кроме того, в последнее время все отчетливее формируются тенденции на системный подход к обеспечению качества выпускаемой продукции.

Тот же анализ показывает, что базой для принятия конструкторско-технологических решений на той или иной фазе жизненного цикла изделия служили рациональные модели, основывающиеся на «точных»

аналитических зависимостях, «прозрачных» алгоритмах и т.д. Между тем, возникающая в производственном процессе система обеспечения точности носит человеко-машинный характер, где роль субъективного фактора пока ещё велика. Именно поэтому поиск путей, позволяющих возместить в той или иной мере функции специалиста, принимающего решения, является перспективным подходом к решению проблемы.

В работе рассматриваются этапы жизненного цикла изделия. Устанавливается роль и функции системы обеспечения точности на соответствующих этапах. Выясняется характер и состав связей, которые должны быть выявлены и реализованы для построения системы обеспечения требуемой точности. Выполнен анализ и проведено изучение этих связей и дан метод их реализации. Рассмотрены практические примеры, раскрывающие предложенные подходы.

Научная новизна диссертационной работы включает:

- Раскрытие и объяснение сущности проявления размерных связей и представление процесса обеспечения требуемой точности их параметров как единого целого, включающего соответствующие этапы жизненного цикла изделия;
- Выявление и описание качественных зависимостей, возмещающих интеллектуальные функции специалиста и лежащих в основе процесса принятия технологических решений по обеспечению требуемой точности изделий;
- Выявление сущности процессов и формирование когнитивных моделей управления технологическими решениями при обеспечении требуемых точностных параметров изделий;
- Разработку метода лингвистического моделирования процесса принятия технологических решений, направленных на обеспечение требуемой точности;

Полученные в работе результаты теоретических исследований и экспериментальных проверок нашли применение при решении задач технологического проектирования и включают:

- Формализованную структуру параметров целевого и служебного назначений изделий, изготавливаемых в автоматизированном производстве;
- Совокупность методов синтеза структур, назначения параметров технологических процессов и проектирования систем управления при обеспечении требуемой точности;
- Когнитивные и лингвистические модели деятельности технолога, а также ядро системы принятия технологических решений;
- Методическое и информационное обеспечение системы управления процессом достижения требуемой точности изделий машиностроения.

Результаты диссертационной работы нашли практическое применение при выполнении государственных научно-технических программ, контрактов. Предложенные методы послужили основой для разработки методики системы управления точностью процессом штамповки кузовных деталей автомобилей.

Материалы представлены в виде методического, информационно-программного обеспечения, практических рекомендаций по построению процесса обеспечения точности при создании технологического процесса штамповки детали «ветровая стойка» в программном обеспечении AUTOFORM SIGMA PLUS и внедрены на ОАО «АВТОВАЗе» (Россия, Тольятти).

Основные научные и практические положения работы докладывались и обсуждались на: научно-практической конференции «Студенческие дни науки в ТГУ» (ТГУ, Тольятти, 2016);

По результатам выполненных исследований опубликовано 2 работы.

В соответствии с изложенным на защиту выносятся следующие основные положения работы, определяющие решение проблемы комплексного управления процессом обеспечения точности изделий машиностроения:

- Результаты анализа процесса обеспечения точности изделий машиностроения как целостной структуры от момента возникновения потребности до их выпуска и эксплуатации;
- Качественные зависимости, возмещающих интеллектуальные функции специалиста по обеспечению требуемой точности изделий;
- Когнитивные модели управления технологическими решениями при обеспечении требуемых точностных параметров изделий;
- Метод лингвистического моделирования процесса принятия технологических решений, направленных на обеспечение требуемой точности

1.2 Анализ актуальности и новизна работы.

В современном мире, в условиях рынка и конкурентной борьбы, любое предприятие должно ориентироваться на выпуск качественно й продукции, отвечающей требованиям и запросам потребителей. Для машиностроительных предприятий требования часто сводятся к необходимости улучшения таких показателей качества изделия как надёжность, долговечность, безопасность, ресурс. Эти показатели качества являются комплексными, зависят от огромного количества различных факторов и обеспечиваются на различных этапах жизненного цикла продукции. Поэтому, при всей простоте формулировки выполнить требования бывает очень трудно. Очень часто надёжность, долговечность и ресурс изделия зависят не только от того, насколько удачной получилась его конструкция, но и от того, как это изделие было собрано, и в каких условиях были получены образующие его детали. Для достижения требуемого уровня

качества, приходится вносить изменения не только в конструкцию изделия, но и в технологический процесс его изготовления. И если в конструкции изделий часто заложено то, что невозможно изменить или исправить, то изменение технологических процессов изготовления деталей и сборки изделия даёт широкие возможности по обеспечению требуемых показателей качества. В первую очередь это относится к условиям обработки, которые определяют состояние поверхностного слоя детали, её напряжённо-деформированное состояние, оказывающее прямое влияние на эксплуатационные характеристики изделия.

Определение напряжённо-деформированного состояния сложных высокоточных изделий и деталей, входящих в эти изделия, является одной из основных задач, решение которой позволяет обеспечить их ресурс, долговечность и надёжность. Следует отметить, что, несмотря на большое количество работ в области исследования качества поверхностного слоя и анализа напряжённо-деформированного состояния деталей, по-прежнему недостаточно изучена проблема перераспределения остаточных напряжений в деталях сложной пространственной формы, при наличии концентраторов, при циклическом нагружении и т.д.

Решить эти проблемы можно путём разработки математических моделей формирования и перераспределения остаточных напряжений в поверхностном слое деталей при различных условиях, что позволит выявить закономерности их формирования и перераспределения, и даёт возможность управлять ими посредством изменения технологических условий обработки.

Все это требует совершенствования технологий, технических и интеллектуальных средств обеспечения производства. Особое место здесь занимают интеллектуальные средства, включающие в себя различные методы, рекомендации, программное обеспечение, являющиеся основой принятия решений по изменению или улучшению процесса изготовления деталей.

С другой стороны, ключевым фактором в современных условиях является время. Чем меньше будут его затраты на внедрение изделия в производство, тем более значимым будет экономический эффект от его внедрения, тем лучше будет чувствовать себя предприятие в условиях конкурентной борьбы. То же относится и к процессу постоянного улучшения качества изделий.

В настоящее время существует недостаточное количество методов, по эффективному использованию их в производственных условиях, хотя любому современному предприятию эти методы просто необходимы. Выходом из сложившейся ситуации может стать разработка компьютерных систем, на основе научного подхода, обобщающих известные теоретические наработки, которые с минимальными затратами времени позволяют добиться хороших результатов, на основе использования механизмов прогнозирования и компьютерного анализа. Применительно к напряжённому состоянию деталей эти методы могут дать его предварительную оценку, спрогнозировать возможную деформацию, проанализировать пригодность деталей для сборки и эксплуатации, предложить рекомендации по назначению режимов обработки, до того, как деталь будет изготовлена или отправлена в производство.

В данной работе рассматривается научно обоснованный подход к созданию такого метода и предлагает его использование для анализа напряжённого состояния деталей автомобильной промышленности и управления им на основе технологических условий обработки. Применение данного метода в производственных условиях позволит сократить затраты на внедрение изделий, повысить их качество. Используемый в работе подход позволяет решать широкий круг задач, связанных с получением деталей и сборкой из них изделий для любых отраслей производства.

Научная новизна заключается в разработке на основе метода конечных элементов методики проектирования техпроцесса листовой штамповки (электронных моделей, расчётных схем, алгоритмов), необходимых для моделирования процесса штамповки (обработки материалов давлением), а также для расчёта поля распределения остаточных напряжений в срединном слое деталей и деформации деталей после обработки с учётом их геометрических особенностей и физико-механических характеристик материала.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанная методика при внедрении в производство позволит повысить эффективность разработки технологических процессов получения деталей за счёт возможности прогнозирования поведения деталей в процессе технологического процесса. Разработанные алгоритмы и программы обеспечивают технолога необходимыми прикладными инструментами для назначения технологических условий обработки типовых деталей.

1.3 Постановка задач

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать литературные источники, рассматривающие вопросы расчёта и оценки напряжённо-деформированного состояния высокоточных деталей после штамповки, в том числе с использованием средств компьютерного моделирования;
- проанализировать точность изделий листовой штамповки для формоизменяющих операций листовой штамповки;
- проанализировать существующие методы управления точностью изделий получаемых формоизменяющими операциями листовой штамповки в системах САПР;
- разработать метод управления точностью получаемых изделий листовой штамповки в приложении AutoForm Sigma для типовой детали.

Диссертация выполнена на кафедре «Сварка обработка металлов давлением и родственные процессы» Тольяттинского государственного университета и ОАО "АВТОВАЗ" и состоит из введения, четырёх основных глав и заключения.

Глава 2. Анализ точности изделий листовой штамповки для формоизменяющих операций листовой штамповки

2.1 Проблемы получения точных изделий в листовой штамповке.

Увеличение объёмов производства, стремление к улучшению качества, увеличению производительности труда и сокращению сроков технологической подготовки производства приводят +к необходимости применения высокоэффективных способов производства, основанных на инновационных наукоёмких технологиях. Одним из таких способов является обработка материалов давлением, а наиболее часто используемым способом – холодная листовая штамповка. Листовая штамповка в большинстве случаев обеспечивает достижение необходимых показателей качества деталей (точности линейных размеров и взаимного расположения поверхностей, шероховатости поверхности), высокую производительность и низкую себестоимость (часто стоимость труда составляет около 5% и менее от общей себестоимости детали). Эти показатели возможны благодаря тому, что ряд операций листовой штамповки обеспечивает:

- точность линейных размеров и формы;
- шероховатость поверхности до $Ra\ 1,25\dots 0,32$;
- возможность выполнения механизации и автоматизации процессов штамповки;
- экономическую эффективность и при мелкосерийном и единичном производстве и др.

Напряжённно-деформированное состояние заготовки для квазистатического процесса деформирования определяют:

- уравнения равновесия;
- условие пластичности;
- условия неразрывности деформаций;
- уравнения связи деформаций и перемещений.

Основой для достижения требуемой точности изготовления деталей в листоштамповочном производстве являются (в зависимости от степени совершенства) теоретические решения по определению полей напряжений и деформаций, которые можно использовать в существующем виде после некоторых уточнений или вновь разработать.

Точность листоштампованных деталей и их элементов можно увеличить за счёт исключения или уменьшения влияния отклонений размеров деталей от размеров инструмента, обусловленных функционированием элементов технологической системы: деформации разгрузки детали, оборудования, инструмента, температурной деформации детали и инструмента, оборудования, заготовки и др.

С целью получения данных о точности впервые был выполнен анализ напряжённно-деформированного состояния, позволивший установить основные параметры процесса: напряжения, степень утонения, оптимальный угол конусности матрицы и коэффициент трения и другие.

Листовая штамповка является самостоятельным видом обработки металлов давлением, объединяющим ряд технологических процессов, посредством которых в ходе пластической деформации из плоской заготовки получают объёмное или плоское готовое изделие. Как правило, листовая штамповка производится в холодном состоянии и лишь только при деформировании толстых заготовок или заготовок из трудно-деформируемых сплавов применяется подогрев исходной заготовки. В качестве исходного материала для изделий, получаемых листовой штамповкой, применяются

листы, ленты, полосы различных металлов и сплавов. Чуть реже, в качестве исходного материала, применяется проволока или трубчатые заготовки.

Имеющиеся научно-производственные данные до настоящего времени не позволяют обоснованно и уверенно назначать необходимую точность размеров листоштампованных деталей из-за:

- противоречий в рекомендациях и стандартах по назначению точности;
- отсутствия конкретных данных об условиях, при которых возможно достижение требуемой (более высокой) точности.

Однако требуемая точность размеров деталей во многих случаях может быть достигнута без дополнительных затрат. Научной базой для такого повышения точности штампованных деталей и их элементов при проектировании технологии и совершенствовании её является учёт влияния (обычно не учитываемых и в настоящее время) систематических погрешностей, определяющих величину отклонения размеров деталей от размеров инструмента. Достижение более точных размеров деталей в производстве в настоящее время основано на:

- интуиции;
- производственном опыте технологов;
- производственном эксперименте.

Но выполнение этих условий не гарантирует быстрого достижения нужного результата, поэтому часто требуется многократная доводка дорогостоящего инструмента, связанная или с изменением конструкции штампа или его рабочих частей. Для этого необходимо выполнить дополнительный объем конструкторских и инструментальных работ, что связано со значительными затратами времени и денежных средств и, следовательно, влияет на сроки подготовки производства и себестоимость деталей. Размеры конечного изделия почти всегда отличаются от размеров инструмента, так как формообразование происходит методом копирования формы и размеров инструмента. Представлены основные причины

отклонения размеров штампованных изделий от размеров инструмента и методика определения этих отклонений, на основе которой стало возможным создание технологических процессов, обеспечивающих изготовление самых точных размеров изделий (точность в некоторых случаях может достигать предельно технически возможной – до 3...4 квалитета). Причём при отсутствии высоких требований к точности размеров эта методика позволяет увеличить износостойкость инструмента за счёт увеличения или смещения поля допуска детали, выделяемого на изнашивание инструмента.

Листовая штамповка, по отношению к другим технологическим процессам получения изделий из металлов и сплавов, обладает целым рядом технологических и экономических преимуществ. К технологическим преимуществам листовой штамповки относится, то что:

- листовая штамповка позволяет получать детали весьма сложных форм, изготовление которых другими методами обработки затруднено или невозможно;
- листовая штамповка позволяет создавать легкие по весу, но в тоже время прочные и жесткие детали;
- листовая штамповка позволяет получать готовые изделия, т.е. изделия, не требующие дальнейшей механической обработки;
- листовая штамповка позволяет получать целый спектр различных изделий, в том числе и изделия объемной конфигурации.

С экономической точки зрения листовая штамповка характеризуется следующими преимуществами:

- высоким коэффициентом использования металла в связи с малыми отходами и отсутствием последующей механической обработки;
- высокой производительностью процесса, особенно в случае применения последовательных и совмещённых штампов;
- небольшой трудоёмкостью деформационных операций;

- низкой стоимостью изготавливаемых деталей;
- высокой стойкостью (низким износом) деформирующей оснастки, по сравнению, например, с процессами объёмной горячей деформации.

В связи с этим значительно снижаются затраты на изготовления специальной оснастки. Кроме того, процессы листовой штамповки отличаются лёгкостью автоматизации, механизации и роботизации технологического процесса, что позволяет не только увеличить производительность труда и качество изделий и полуфабрикатов, но и значительно уменьшить вероятность риска травмирования работающих. Производство деталей методами листовой штамповки занимает достаточно большое место в современном машиностроении, приборостроении, судостроении, в автомобильной и других отраслях промышленности.

Наибольшее распространение листовая штамповка получила в крупносерийном и массовом производстве, где большие объёмы годового выпуска деталей позволяют использовать технически более совершенные, хотя и более сложные и дорогие штампы [1]

Однако, наряду с этим, в настоящее время холодная листовая штамповка широко применяется в мелкосерийном и даже единичном производстве. Необходимо отметить, что при разработке технологических процессов изготовления деталей методами листовой штамповки, в отличие от горячей объёмной штамповки, необходимо учитывать несколько принципиальных моментов.

Во-первых, листовой штамповкой получают практически готовое изделие, которое после отделочных операций готово к дальнейшему использованию.

Во-вторых, последовательность технологических процессов изготовления деталей листовой штамповкой не является такой же однозначной как при горячей объёмной штамповке. В достаточно большой

степени технологическая схема получения листоштамповочной детали зависит от формы изделия, его размеров, пространственной конфигурации и годовой программы выпуска. Например, при изготовлении листоштамповочной детали, для получения которой основной формоизменяющей технологической операцией является вытяжка в условиях единичного и мелкосерийного производстве штамповку целесообразнее вести из штучных плоских заготовок. Поэтому, в начале технологического процесса необходимо предусмотреть операции, позволяющие обеспечить получение штучных заготовок (операций резки листов на полосы и вырубку штучных заготовок из полосы). При изготовлении аналогичной детали в условиях крупносерийного и массового производства технологический процесс целесообразнее проводить штамповкой в ленте, поэтому разделительные операции (отделение готовой детали от ленты или полосы) будут являться заключительной технологической листоштамповочной операцией.

В третьих, конструкция штампов при листовой штамповке в значительной мере зависит не только от формы и размеров получаемого изделия, но и от особенностей технологического процесса и годовой программы выпуска. В условиях единичного и мелкосерийного производства целесообразнее применять одно-операционные простые штампы, которые за один ход пресса обеспечивают выполнение одной технологической операции. В условиях массового и крупносерийного производства целесообразнее использовать комбинированные штампы совмещённого или последовательного действия, в которых за один ход пресса выполняется несколько деформационных операций. Поэтому при разработке технологического процесса изготовления детали методами листовой штамповки необходимо не только применять все знания по теории и технологии листовой штамповки, теории обработки металлов давлением, теории пластичности и металловедению, но и творчески подходить к

разработке технологического процесса, продумывая различные варианты изготовления каждой конкретной детали.

В общем комплексе технологии машиностроения все большее значение приобретает обработка металлов давлением, в том числе листовая штамповка. Это один из способов обработки, при котором металл пластически деформируется в холодном состоянии при помощи штамповой оснастки. Листовая штамповка применяется для изготовления самых разнообразных деталей практически во всех отраслях промышленности связанных с обработкой материалов давлением.

Листовая штамповка представляет собой самостоятельный вид технологии, обладающей рядом особенностей:

- высокой производительностью;
- возможностью получения самых разнообразных по форме и размерам полуфабрикатов и готовых деталей;
- возможностью автоматизации и механизации штамповки путем создания комплексов оборудования, обеспечивающих выполнение всех операций производственного процесса в автоматическом режиме (в том числе роторных и роторно-конвейерных линий);
- возможностью получения взаимозаменяемых деталей с высокой точностью размеров, без дальнейшей обработки резанием.

Современное холодноштамповочное производство развивается по пути совершенствования традиционных и создания новых технологий и оборудования. При этом наметились тенденции создания холодноштамповочного оборудования для крупносерийного и массового производства автоматических линий и холодноштамповочных пресс-автоматов и оборудования для мелкосерийного, серийного и единичного часто переналаживаемого производства холодноштамповочного

оборудования с числовым программным управлением, универсальных прессов, гибких производственных модулей с ЧПУ.

Основными техническими признаками, влияющими на выбор варианта технологического процесса, являются: механические свойства и толщина материала, степень сложности конфигурации детали и её габариты, требуемая точность детали, место расположения отверстий и точность расстояния между их осями и т.д. Основным экономическим признаком, от которого зависит решение вопроса экономической целесообразности того или иного варианта, является серийность производства.

2.2. Методы определения показателей точности изделий.

При листовой штамповке геометрические параметры деталей в основном получают методом копирования формы и размеров рабочих частей штампа. В основе методики исследования и технологического обеспечения точности размеров лежат физико-механические процессы.

Во всех исследованиях принимается материал изделия изотропным.

Точность размеров изделий (ТРИ) взаимно связана со стойкостью инструмента (СИ), поэтому рассмотрим этот вопрос. Особенно наглядно эту взаимосвязь видно на примере формирования ТРИ и СИ при вырубке-пробивке.

В этом процессе штамповки в зависимости от величины зазора между пуансоном и матрицей, который увеличивается из-за износа рабочих частей штампа, наружные размеры деталей могут быть меньше, больше и равны размеру инструмента (пуансона или матрицы) и соответственно этому стойкость штампа будет больше или меньше.

В основе методики технологического обеспечения ТРИ и повышения СИ находятся возможности корректировать рабочие размеры инструмента на

стадии проектирования или совершенствовать его в процессе производства с учётом деформации разгрузки детали после штамповки и тепловых процессов, сопутствующих изготовлению детали требуемой точности.

В процессе работы под действием технологического усилия во всех элементах технологической системы пресс-штамп-заготовка возникают деформации, которые в зависимости от конкретных условий процесса штамповки могут вызывать большие или меньшие отклонения размеров изделия от размеров инструмента.

Главными источниками отклонения размеров штампуемых деталей являются процессы, протекающие во всех элементах технологической системы (прессе, штампе, штампуемой заготовке), и условия выполнения процесса штамповки.

Основные причины отклонения размеров:

- непостоянство механических свойств материала детали;
- упругие деформации детали;
- возможные пластические деформации детали при её разгрузке и инструмента и др.

Вызываемые этими причинами деформации и отклонения могут быть представлены в виде математической модели в целях последующего расчёта размеров и отклонения размеров детали от размеров инструмента.

Различают следующие виды погрешностей: систематические и случайные.

Систематические погрешности - это погрешности, величину и момент возникновения которых можно заранее рассчитать.

Случайные погрешности - это погрешности, величину и момент возникновения которых заранее нельзя определить.

Предварительное определение величины и моментов возникновения отклонения размеров детали от размеров инструмента позволяет решить важнейшие практические задачи:

- повышение точности размеров изготавливаемых деталей за счёт исключения влияния систематических, а в некоторых случаях и случайных погрешностей;
- повышения износостойкости рабочих элементов пуансонов и матриц при отсутствии повышенных требований к точности изделия за счёт расширения поля допуска детали на изнашивание инструмента.

Математическая модель для предварительного определения величины отклонения размеров деталей от рабочего размера формообразующего инструмента может быть создана на основе обычно применяемых полиномов некоторой степени со статистически определяемыми затем коэффициентами полинома. Однако возможно создание математической модели на основе изучения и математического представления основных физических процессов. Такие модели являются более информативными со всех точек зрения и могут быть менее трудоёмки как с точки зрения их создания, так и практического использования. Суммирование погрешностей здесь возможно, как по способу минимума-максимума, так и способом наименьших квадратов в зависимости от числа элементов, формирующих размер изделия.

Рассмотрим вопросы точности холодноштампованных деталей и их элементов. Рекомендации по качеству листоштамповочных деталей включают данные о шероховатости поверхности, точности формы и размеров для всех основных операций штамповки. Заметим, что точность штампованных деталей в пределах 6... 16 качества зависит от выбранной операции и её схемы. Шероховатость поверхности детали, формируемая непосредственно в контакте с разделительным инструментом, соответствует $Ra \ll 0,32... 1,25$, а недеформируемая в контакте с инструментом $Rz \ll 20$ и выше. Исходная шероховатость поверхности листовой заготовки в других операциях на деформированных участках поверхности детали увеличивается на 1...2 параметра шероховатости поверхности.

Отметим также существенное влияние упругого и некоторого пластического деформирования практически всей поверхности

изготовленного изделия на точность формы (прямолинейность, плоскостность, взаимное расположение), возникающие как в процессе формообразования, так и в процессе разгрузки изделия после удаления его из штампа.

Точность штампованных деталей определяют следующие параметры:

- точность размеров;
- взаимное расположение поверхностей;
- шероховатость поверхности;
- однородность свойств материала.

Все эти параметры зависят от выбранного технологического маршрута, отдельных процессов и качества изготовления инструмента. [2]

Факторы, ограничивающие формоизменение заготовки: разрушение материала по исчерпанию его пластичности; возникновение волн, выпучивания на участках заготовки, находящихся под воздействием сжимающих сил; локализация деформации и резкое сужение сечения на участках заготовки, находящихся под воздействием растягивающих сил; упрочнение металла, если оно оговорено техническими условиями на деталь.

Для различных частиц тела пластичность может быть различной. Мерой пластичности является деформация разрушения — интенсивность деформаций ϵ_p , накопленная материалом за рассматриваемый период, закончившийся разрушением частицы.

Разрушение частицы тела при пластической деформации есть результат накопления материалом тела таких повреждений, как поры, микротрещины внутри зёрен и по их границам. При рассмотрении механизма разрушения частицу тела принимают малой по отношению к размерам тела, но достаточно большой по отношению к размерам отдельного зерна или другого элемента микроструктуры, содержащей тысячи зёрен. По мере увеличения деформации процесс роста площади поверхности каждого повреждения может перейти к процессу объединения ряда повреждений (микротрещин,

пор, разрывов). При этом скорость роста площади поверхности объединённых повреждений резко увеличивается. Они образуют одну макро-трещину, которая и разделяет частицу, разрушает её. Последующее разрастание макротрещин и их объединение приводит к разрушению тела в целом. На пластичность влияют в основном давление, с которым на неё давят соседние частицы, скорость деформации, температура, деформация, накопленная за период, предшествующий рассматриваемому, и её градиент, вид напряжённого состояния (частицы), а также внешние факторы — воздействие агрессивной среды, радиоактивное облучение и т. д.

Возникновение волн, выпучивания наблюдается на участках заготовки, находящихся под воздействием сжимающих сил и не имеющих двустороннего контакта с жёсткими поверхностями инструмента. Во многих случаях такой контакт может быть обеспечен при дополнительном введении в состав инструмента прижимов, держателей, элементов подпора и т. п.

Локализация деформации присуща следующим видам формоизменения: растяжению, гибке с растяжением, вытяжке, обтяжке и местной формовке, раздаче, отбортовке. Её развитие зависит в основном от вида и разновидностей формоизменения заготовки, упрочняемости металла как по деформации, так и по её скорости, исходных разнотолщинности листовой заготовки и неоднородности пластических свойств металла, неравномерности распределения деформации, соотношения между главными деформациями и ϵ_2 в направлениях растяжения.

Технологические свойства листового материала включают в себя часть механических, физических свойств и данные о составе материала как вещества, отдельные показатели его микро- и макроструктур, точности изготовления как тела, микрогеометрии поверхности, её физико-химического состояния, степень однородности (равномерности распределения) этих свойств и показателей по телу (по координатам) и их стабильность по

времени.

Показателями штампуемости являются коэффициент наибольшего формоизменения, качество обработки, экономичность использования материала, стойкость инструмента, стоимость инструмента и его обслуживания, силовые, энергетические и другие материальные затраты, условия труда.

К методам определения показателей точности изделий также относят:

- проверку готового изделия на контрольном приспособлении, посредством специализированных программ, позволяющих провести замеры геометрии детали по заданным координатам точки;
- карты измерений детали и карта пригодности процесса;
- контрольно-измерительные машины (КИМ);
- Визуальный осмотр готовых изделий, посредством специальных средств, таких как затирочный камень («вишнёвый камень»)

После того как деталь полностью подготовлена необходимо провести затирку камнем, согласно карте направления движения камнем.

2.3 Анализ точности изделий листовой штамповки, получаемых операцией гибки.

Точность формы, линейных и угловых размеров при гибке значительно зависит от процесса формообразования. Технологические требования к конструкции штампуемых деталей должны удовлетворять условиям и возможностям процессов листовой штамповки.

Конструкции деталей должны обеспечивать:

- 1) принципиальную возможность получения деталей листовой штамповкой;

- 2) возможность их штамповки с высокой стойкостью деталей штампов при массовом производстве;
- 3) сокращение или исключение дополнительных доводочных операций;
- 4) позволять не усложнять конструкцию, а, следовательно, не удорожать штамп.

Гибка – это распространенная операция листовой штамповки, сопровождающаяся упругой и пластической деформациями материала. Зоны упругой деформации находятся вблизи нейтральной линии деформации. Величина упругой зоны зависит от величины деформации при гибке полосы, т.е. от величины угла и радиуса гибки. После снятия нагрузки вследствие действия упругих напряжений происходит изменение размеров изделия по сравнению с размерами, заданными инструментом. Это явление называется упругим пружинением.

Различают следующие основные схемы гибки: гибка моментом, гибка силой, комбинированная гибка, при которой возможны варианты:

- гибка со сжатием или растяжением;
- гибка со сжатием кручением;
- гибка с подогревом.

При гибке моментом получают более точные форму и размеры, чем при гибке силой, так как при гибке моментом напряжения формообразования действуют в основном в зоне формообразования; при гибке силой напряжения деформации распространяются обычно и на прилегающие к зоне деформации участки, которые в готовой детали должны быть плоскими.

Минимально допустимые радиусы гибки R применяют только в случае конструктивной необходимости. В большинстве случаев используют $R \geq s$, особенно для толстолистовой штамповки.

При гибки П- образных, V-образных деталей можно получить детали, у которых высота полков h должна быть больше двойной толщины материала. При гибке твёрдых и малопластичных металлов или гибке на малый радиус изгиб желательно располагать поперёк волокон проката и $R_{\min} = (2 \div 4) s$. Желательна симметричная конструкция гнутых деталей, так как при несимметричной гибке возможно искажение детали. Для предотвращения этого требуется усложнение штампа, что приводит к его повышенному износу. На рисунке 2.1 представлены основные ограничения при операции гибка.

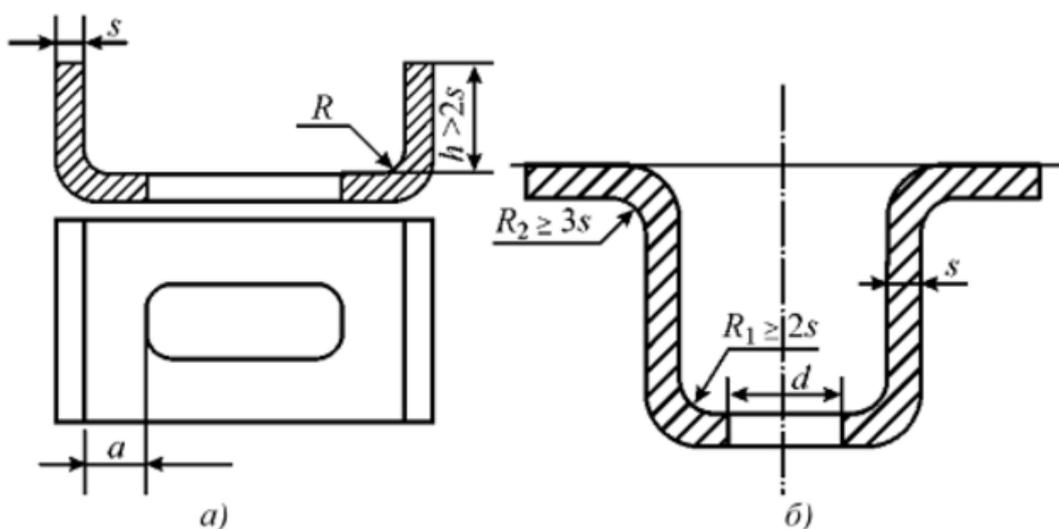


Рисунок 2.1 Эскиз деталей:

а) – получаемой гибкой;

б) – получаемой вытяжкой

Основные показатели технологичности гибки:

Для гибочных операций необходимо:

- а) определить размеры плоской заготовки;
- б) определить количество и последовательность выполнения операций гибки;
- в) рассчитать усилие гибки, прижима (выталкивания) детали;

- г) вычислить минимально-допустимые радиусы гибки;
- д) определить углы пружинения (для каждой операции);
- е) рассчитать зазоры между матрицей и пуансоном

При разработке технологического процесса изготовления детали, необходимо стремиться к выбору наиболее экономичного варианта в соответствии с чертежом, программой и техническими условиями.

2.4. Анализ точности изделий листовой штамповки получаемых операцией вытяжки.

Формирование точности деталей, изготавливаемых вытяжкой, обусловлено многими параметрами конструкции и технологии детали:

- коэффициентом вытяжки;
- механическими свойствами штампуемого материала;
- геометрическими параметрами изготавливаемой детали;
- относительной толщиной заготовки;
- условиями формообразования (температурой инструмента и заготовки, трением на матрице и пуансоне);
- точностью и качеством поверхности заготовки;
- конструкцией и точностью штампа;
- износом пуансона и матрицы;
- технологическим процессом изготовления детали и др.

До настоящего времени не выполнены обстоятельные исследования процесса образования точности размеров при вытяжке. В данной главе представлены ориентировочные данные, полученные разными исследователями экспериментальным путём, и результаты работы авторов пособия по увеличению точности. Отклонения по диаметру и высоте

цилиндрических полых деталей при вытяжке приведены в таблицах 2.1...2.3; а отклонения от плоскостности дна детали - в таблице 2.4.

Вытяжкой без припуска на обрезку торца изготавливают неглубокие детали с коэффициентом вытяжки $K= 1,20... 1,25$. При этом точность по высоте детали соответствует 8... 10 качеству при изготовлении детали в штампе совмещённого действия и 10... 12 качеству - в штампе простого действия.

У деталей с фланцем точность по диаметру при вытяжке получают в пределах 12... 14 качества точности.

Таблица 2.1

Отклонение диаметра цилиндрических полых деталей без фланца после вытяжки (% от диаметра)

Коэффициент вытяжки k	Первая вытяжка			Калибровка		
	Относительная толщина заготовки $(s_0/D_0)100$					
	2,0...1,0	1,0...0,3	0,3...0,1	2,0...1,0	1,0...0,3	0,3...0,1
1,25	0,3	0,4	0,5	0,12	0,16	0,20
1,42	0,4	0,5	0,6	0,16	0,20	0,25
1,66	0,5	0,6	0,7	0,20	0,25	0,30
2,00	0,6	0,7	-	0,25	0,30	-

Примечание. s_0 – исходная толщина материала, мм; D_0 – диаметр заготовки, мм.

Таблица 2.2

Отклонения по высоте (\pm) полых цилиндрических деталей с фланцем после вытяжки, мм

Толщина материала s_0	Отклонения по высоте (\pm) в зависимости от высоты детали						
	До 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 260
1,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2

1,42	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,4
1,66	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,4	1,6
2,00	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,6	1,8

Таблица 2.3

Отклонения (\pm) по высоте цилиндрических полых деталей без фланца после вытяжки, мм

Толщина материала s_0	Отклонения в зависимости от высоты детали						
	До 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 260
До 1	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8
Св. 1 до 2	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0
Св. 2 до 4	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0	2,5
Св. 4 до 6	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0

Таблица 2.4

Отклонение от плоскостности дна детали, мм

Толщина материала s_0	Отклонения в зависимости от диаметра детали				
	До 75	Св. 75 до 150	Св. 150 до 250	Св. 250 до 500	Св. 500
До 0,4	0,5	0,7	0,9	1,3	1,5
Св. 0,4 до 2				1,0	1,8
Св. 1,2 до 2,0	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
Св. 2,0 до 3,5	0,25	0,35	0,5	0,6	0,8
Св. 3,5					0,2

Допускаемые отклонения по внутреннему диаметру вытянутых деталей приведены в таблице 2.5

Таблица 2.5

Допускаемые отклонения по внутреннему диаметру деталей при вытяжке, мм

Толщина материала	Отклонения внутреннего диаметра при нормальном внутреннем диаметре $d_{вн}$, \pm		
	До 50	50...100	100...300
0,5	0,12	-	-
0,6	0,15	0,2	-
0,8	0,20	0,2	0,3
1,0	0,25	0,3	0,4
1,2	0,30	0,3	0,5
1,5	0,35	0,4	0,6
2,0	0,40	0,5	0,7
2,5	0,45	0,6	0,8
3,0	0,5	0,7	0,9
4,0	0,6	0,8	1,0
5,0	0,7	0,9	1,1
6,0	0,8-	1,0	1,2

2.5 Анализ точности изделий листовой штамповки получаемых операцией отбортовка.

Отбортовка — образование борта по внутреннему и (или) наружному контуру заготовки.

Рассмотрим точность образования размеров для применяемых в производстве способов штамповки: отбортовки, отбортовки со сжатием по периметру отверстия, комбинированной отбортовки.

Отбортованные элементы деталей используют для сопряжения деталей путём механического соединения или сварки. Достаточно обоснованных теоретическими или экспериментальными исследованиями данных по точности образования поперечных размеров элементов изделий, полученных отбортовкой, до настоящего времени нет.

Здесь будем придерживаться в основном терминологии, предложенной Е.А. Поповым [3]. Штампующий материал считаем изотропным.

При отбортовке по ходу пуансона в каждом сечении окружные напряжения увеличиваются до наибольшей величины, а радиальные уменьшаются от наибольшей величины у сопряжения тора с бортом до нуля у края борта. Следствием уменьшения радиальных напряжений по ходу пуансона является частичная разгрузка ранее образованной части горловины.

Так как после удаления отбортованной детали из штампа нет препятствий для упругого изменения размеров борта, то считаем, что происходит полная разгрузка всех элементов полученного борта.

Для отбортовки отверстия после штамповки пуансоном с криволинейным рабочим торцом, оформленным по трактрисе, влиянием изгибающих напряжения и трения на величину радиальных напряжений можно пренебречь, так как они будут составлять величины, не превышающие несколько процентов.

2.6 Анализ способов повышения точности изделий в листовой штамповке в процессе проектирования технологии изделия.

В целях обеспечения высокого качества изделия, его служебных характеристик (технических требований к изделию) и минимальной

себестоимости при разработке конструкции изделия, выборе геометрических соотношений формы, вида и механических характеристик исходного материала необходимо учитывать следующие факторы: технологические возможности и особенности штамповочных операций в предлагаемых вариантах технологического процесса; уровень технической оснащённости и состояния машин штамповочного и инструментального подразделений; возможности выбора материалов для штампов. Понятие «технологичность изделия» включает в себя сравнительную (качественную) оценку полноты этого учёта.

2.7 Выводы

Основные процессы листовой штамповки обеспечивают точность в пределах 12...14 квалитетов. Для достижения более высокой точности вводят дополнительные операции штамповки, но это увеличивает производственные затраты.

Качество штампованных деталей определяют: точность размеров, взаимное расположение и шероховатость поверхностей, однородность свойств материала и другие параметры. Все они зависят от выбранного технологического маршрута, схемы отдельных процессов штамповки, качества изготовления инструмента и выбранного оборудования.

Сочетание отдельных процессов штамповки определяет технологический маршрут, а правильно выбранный маршрут обеспечивает достижение высокого качества изделия.

Качество изделия формируется в отдельных процессах штамповки, его напряженно-деформированным состоянием. Напряжённо-деформированное состояние и следующая после снятия деформирующего усилия разгрузка определяют отклонения размеров и форму изделия.

Качество поверхности изделия зависит в основном от способа её получения, качества поверхности заготовки, инструмента и других факторов.

Глава 3. Анализ существующих методов управления точностью изделий, получаемых формоизменяющими операциями листовой штамповки в системах САПР

3.1 Методы управления точностью изделий в САД системах.

Автоматизированное проектирование (computer-aided design — САД) представляет собой технологию, использующую компьютерные системы для облегчения создания, изменения, анализа и оптимизации проектов. Поэтому, любая программа, работающая с компьютерной графикой, так же, как и любое приложение, используемое в инженерных расчетах, относится к системам автоматизированного проектирования. Иначе, множество средств САД варьируются от геометрических программ для работы с формами до специальных приложений для анализа и оптимизации. Между этими крайностями уместятся программы для анализа допусков, расчета масс — инерционных свойств, моделирования методом конечных элементов и визуализации результатов анализа. Самая основная функция САД — определение геометрии конструкции (детали механизма, архитектурные элементы, электронные схемы, планы зданий и т. п.), поскольку геометрия определяет все последующие этапы жизненного цикла продукта. Для этой цели обычно используются системы разработки рабочих чертежей и геометрического моделирования. Вот почему эти системы обычно и считаются системами автоматизированного

проектирования. Более того, геометрия, определенная в этих системах, может использоваться в качестве основы для дальнейших операций в системах CAE и CAM. Это одно из наиболее значительных преимуществ CAD, позволяющее экономить время и сокращать количество ошибок, связанных с необходимостью определять геометрию конструкции с нуля каждый раз, когда она требуется в расчетах. Можно, следовательно, утверждать, что системы автоматизированной разработки рабочих чертежей и системы геометрического моделирования являются наиболее важными компонентами автоматизированного проектирования

Общие требования к электронным моделям изделий (ЭМИ).

Для ЭМИ по умолчанию определена ортогональная координатная система, которую изображают тремя взаимно перпендикулярными линиями с началом координат, расположенным в пересечении трёх осей, при этом:

- следует использовать правостороннюю координатную систему;
- должно быть показано положительное направление и обозначение каждой оси.

Для построения ЭМД допускается использование дополнительных локальных систем координат, облегчающих геометрические построения.

Для создания электронных моделей автомобиля и компонентов кузова используется глобальная система автомобиля, образованная базовыми плоскостями автомобиля, в соответствии с СТП предприятия.

При разработке ЭМИ используют точное и полное твердотельное представление формы изделия в номинальных размерах того состояния, в котором она устанавливается в узле или автомобиле без учёта деформации.

При разработке ЭМИ рекомендуется использовать стандартные цветовые настройки программного обеспечения.

При визуализации ЭМИ допускается:

- а) использовать свободный формат для представления;
- б) не показывать отображение центральных (осевых) линий или центральных плоскостей для указания размеров;
- в) не показывать разрезы и сечения;
- г) показывать дополнительные конструктивные параметры с помощью вспомогательной геометрии, например, координаты центра масс;
- д) не показывать размеры изделия и их предельные отклонения.

Вспомогательные элементы для построения геометрии в ЭМИ должны быть выведены в невидимый режим.

Требования к различным видам электронных моделей изделий.

ЭМД следует выполнять в размерах, которым она должна соответствовать перед сборкой.

Для деталей с постоянной толщиной, в том числе крупногабаритных кузовных деталей, конечная геометрия должна содержать твердотельное представление со всеми отверстиями.

Номинальные размеры на необрабатываемые участки должны включать возможность их получения как на «минусовых», так и на «плюсовых» допусках при технологическом процессе.

Для деталей, полностью симметричных относительно координатной плоскости $Y=0$, симметричные части ЭМД могут быть созданы одна из другой путём симметричного отображения.

Для анализа и учёта управления точностью изделий, получаемых в процессе листовой штамповки в САЕ в данной работе и к примеру, вводится программный модуль Autoform Sigma.

3.2 Использование программного комплекса CAE Autoform для анализа точности в формоизменяющих операциях штамповки.

Программный модуль AutoForm полностью интегрирует компенсацию пружинения в геометрических моделях текущих программных продуктов. Поэтому разработчики рабочей поверхности штампов могут сразу учитывать результаты пружинения и корректировать геометрию инструмента. Значения упругого пружинения в свободном и зафиксированном состоянии штампуемой детали автоматически передаются на вытяжной штамп. Участки компенсации определяются автоматически и могут быть изменены вручную. Связь между результатами пружинения, геометрией оснастки и определением компенсации реализуется с помощью всего нескольких параметров. Компенсация для рабочих поверхностей штампов выполняется в направлении, противоположном пружинению, с тем же самым значением. Расчет значения компенсации выполняется за несколько минут с помощью самых современных алгоритмов, и геометрия компенсированного инструмента автоматически используется как входящие данные для следующего моделирования. С помощью нескольких контуров оптимизации можно выполнить окончательную штамповку с требуемыми допусками. Следовательно, работа инженера по проектированию рабочей поверхности штампа сводится к минимуму.

Многие крупные автомобилестроительные компании используют ПО AutoForm-Sigma.

Компания Daimler Chrysler использует ПО AutoForm-Sigma для контроля надёжности процесса штамповки в отношении пружинения, вызванного изменчивостью параметров материала и изменениями в технологическом процессе. Что предоставляет ценную информацию для

оптимизации операций по сборке кузова, где в свою очередь возникают проблемы, связанные с отличиями в упругой деформации материалов и усилиях штамповки.

Компания Volvo Cars применяет AutoForm-Sigma для изучения влияния изменчивости свойств материала на объем выпуска штампованных изделий с целью разработки еще более надежных технологий штамповки.

В целом для автомобильной промышленности тенденция использовать листовые металлы с более сложными свойствами требует лучшего понимания влияния этих свойств на надежность штамповки, и программный продукт AutoForm-Sigma помогает выполнить это требование.

3.2.1 Оценка точности изделий, получаемых гибкой в Autoform.

Точность изделий, получаемых гибкой в ПО AutoForm соотносится с показателем пружинения.

Существуют следующие виды пружинения:

- Свободное пружинение.
- Пружинение на пинсах
- Пружинение замерное на контрольной оснастке (калибрах).

Характер полученного показателя пружинения зависит также от типа гибочной операции, будь то одноугольная гибка или двухугольная гибка.

Точность получения детали оценивают по результатам смещения изделия.

В случае свободного пружинения определяют смещения относительно исходной геометрии готового изделия. Для оценки пружинения на пинсах производят фиксацию положения детали по трем точкам. Обычно эти точки являются базовыми. Смещения определяют относительно базовых точек,

линий и поверхностей детали. Точность изготовления детали также контролируют моделируя фиксацию детали на калибре. В этом случае моделируется прижим детали к калибру с помощью специальных прихватов и оценивается геометрия положения детали на контрольной оснастке.

3.2.2 Оценка точности изделий, получаемых вытяжкой в Autoform

Пакет Autoform является специализированным программным обеспечением для оптимизации технологического процесса листовой штамповки. Он был разработан специально для анализа операций глубокой вытяжки и гибки с вытяжкой, применяемых в автомобильной промышленности.

При моделировании процесса штамповки Autoform производит автоматическую адаптацию сетки в процессе анализа, что позволяет точно описать геометрию и получить точные результаты.

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.

Визуализация данных включает различные способы для эффективной и интуитивной интерпретации результатов моделирования технологического

процесса, например цветные графики «заливки» результатов, таких как толщина, критерии повреждения для разрывов и гофров, перемещений при пружинении, цветовая визуализация, позволяющая обозначить высоту гофров, а также интуитивная визуализация качественной оценки штампуемости с зонами разрывов, опасности разрывов, безопасной зоной, зоной недостаточного натяжения, зоной возможных гофров.

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.

3.3 Способы компенсации пружинения для повышения точности изделий в приложении Autoform Compensator.

Приложение для компенсации инструмента (AutoForm-Compensator^{plus}) на основании на результатах расчёта пружинения (рисунок 3.1)



Рисунок 3.1 Результат расчёта пружинения

AutoForm-Compensator^{plus} позволяет пользователям автоматически изменять поверхности инструмента, основываясь на точном вычислении

пружинения. Инженеры могут легко задать участки, которые программа автоматически скорректирует используя результаты пружинения. Затем скомпенсированная геометрия используется для быстрой и точной проверки инструмента.

Поверхности инструмента компенсируются в направлении, противоположном пружинению. Могут быть изменены или вся поверхность инструмента или отдельные ее области. Области на инструменте могут быть различными: область прямой компенсации; фиксированная, остающаяся неизменной; и фиксированная по направлению, с ограничением компенсации для фланцев и стенок вытяжного перехода. Задание этих различных областей помогает инженерам систематически контролировать компенсацию.

Скомпенсированная геометрия инструмента автоматически используется как входная информация для следующего моделирования. Окончательная геометрия детали в пределах допусков получается за минимальное количество циклов корректировки. Поэтому работа инженера сокращается до минимума.

Компенсация пружинения осуществляется во время этапа разработки штампов, чтобы повысить качество детали и инструмента до начала этапа реальной наладки. В результате этой процедуры повышается достоверность планирования разработки штампа, его изготовления и наладки. Риск дорогостоящих доработок инструмента или процесса сводится к минимуму. Применение AutoForm-Compensator^{plus} существенно снижает время и стоимость проектирования и наладки.

Главные преимущества AutoForm-Compensator^{plus}:

Существенное снижение времени и стоимости проектирования и наладки штампов

- Повышение достоверности планирования проектирования штампов, их изготовления и наладки
- Значительное сокращение количества циклов доработки штампов
- Минимизация дорогостоящих доработок инструмента или процесса из-за пружинения
- Повышение качества детали и оснастки

Главные особенности AutoForm-Compensator^{plus}:

- Пользовательский выбор участков компенсации – весь инструмент или выбранный участок детали может быть изменен
- Возможность компенсации как свободного, так и закрепленного пружинения
- Автоматическая корректировка геометрии рабочих поверхностей

3.4 Выводы

Инженерный анализ представляет собой совокупность испытаний, методов, предназначенных для определения возможности оборудования, конструкций и производимой продукции выдерживать проектные нагрузки и функционировать при расчётных условиях эксплуатации.

В настоящее время в проектировании широко используются различные программные пакеты автоматизированного конструирования (Computer-aided engineering-CAE), способствующие проводить инженерный анализ компьютерных моделей деталей, не прибегая к реальным экспериментам.

CAE (Computer-aided engineering) — общее название для программ и программных продуктов, предназначенных для решения различного множества инженерных задач: расчётов, анализа и симуляции физических процессов. Расчётная часть программных продуктов основана на численных

методах решения дифференциальных уравнений, так называемым методам конечных элементов, методам конечных объёмов и методам конечных разностей и др.

Современные системы автоматизации инженерных расчётов (CAE) применяются совместно с CAD-системами (совмещается с ними - в этом случае получаются гибридные CAD/CAE-системы).

CAE-системы — это различные программные продукты, позволяющие при помощи расчётных методов оценить, как поведёт себя компьютерная модель изделия в реальных условиях производства и эксплуатации. Эти системы помогают убедиться в работоспособности изделия, без привлечения больших затрат времени и средств.

Самым распространённым и результативным расчётным методом, исходя из изученных источников, применяемым в CAE-системах, является метод конечных элементов (МКЭ). Системы, которые используются как численный анализ технических конструкций МКЭ, называются FEA системы (Finite Element Analysis).

Некоторые FEA системы, которые используются в настоящее время:

- *T-FLEX* — универсальная система КЭ анализа с встроенным пре-/постпроцессором;
- AutoForm — программный модуль AutoForm-Sigma^{plus} специализирован для анализа и улучшения надежности продуктов листовой штамповки. Он служит для улучшения процессов формовки, их стабилизации и уменьшения циклов наладки штампов.
- *APM WinMachine 2010* — отечественная универсальная система для проектирования и расчета в области машиностроения, включающая КЭ анализ с встроенным пре-/постпроцессором;
- *APM Civil Engineering 2010* — отечественная универсальная система КЭ анализа с встроенным пре-/постпроцессором для проектирования и

расчета металлических, железобетонных, армокаменных и деревянных конструкций;

- *ABAQUS* — универсальная система КЭ анализа с встроенным пре-/постпроцессором;
- *ANSYS* — универсальная система КЭ анализа с встроенным пре-/постпроцессором;
- *Autodesk Simulation* — комплекс универсальных систем КЭ анализа со встроенными пре-/постпроцессорами (в комплекс входят Autodesk Simulation CFD — программа вычислительной гидрогазодинамики, Autodesk Simulation Mechanical — программа для механического и теплового анализа изделий и конструкций, Autodesk Simulation MoldFlow — программа моделирования процесса литья пластмассовых изделий под давлением);
- *ESAComp* — программная система конечно-элементных расчетов тонкостенных многослойных пластин и оболочек;
- *MSC.Nastran* — универсальная система КЭ анализа с пре-/постпроцессором MSC.Patran;
- *CAE Fidesys* — универсальная система КЭ анализа с встроенным пре-/постпроцессором;
- *HyperWorks* (HyperMesh, RADIOSS, OptiStruct, AcuSolve и др.) — универсальная программная платформа систем конечно-элементного анализа;
- *Moldex3D* — программная система конечно-элементного моделирования литья армированных пластмасс под давлением;
- *NEiNastran* — универсальная программная система конечно-элементного анализа;
- *NX Nastran* — универсальная система МКЭ анализа;
- *SAMCEF* — универсальная система КЭ анализа с пре-постпроцессором SAMCEF Field.

- *Femap* — независимый от САПР пре- и постпроцессор для проведения инженерного анализа методом конечных элементов;
- *FEM-models* — программный комплекс для моделирования и анализа методом конечных элементов. Специализация программы — геотехнические расчеты, совместные расчеты систем здание-основание.

САПР, включающие возможности для проведения инженерного анализа и использующие МКЭ как численный метод анализа:

- *Autodesk Inventor*;
- *SolidWorks*;
- *PRO/Engineer*;
- *SolidEdge*;
- *CATIA*;
- *и др.*

Систем и САПР, решающих задачи инженерного анализа как видно огромное количество. Тут приведены только системы, использующие МКЭ как численный метод анализа. FEA-системы - это специализированные системы, чаще всего, со слабыми возможностями по геометрическому моделированию, но включают мощные решатели. САПР, решающие задачи инженерного анализа, зачастую направлены больше на решение CAD задач, и не включают каких-то сложных средств анализа. Зачастую САПР используют внешние решатели FEA-систем. Есть еще третий вид систем, которые используются для визуализации результатов анализа, например, GLView.

В данной работе используется программный модуль AutoForm-Sigma^{plus}, специализированный на анализе чувствительности процесса, оптимизации и устойчивости.

AutoForm-Sigma^{plus} – специализированное приложение, анализирующее и улучшающее устойчивость (робастность) техпроцессов и листоштампованных деталей. Оно служит для улучшения и подтверждения процессов формообразования, снижения количества или исключения бракованных деталей.

С помощью AutoForm-Sigma^{plus}, продукты и процессы могут разрабатываться так, что получающиеся производственные процессы будут наиболее эффективны и стабильны при достижении желаемого качества. Можно легко проанализировать влияние параметров процесса и чувствительность к ним, что ведет к лучшему пониманию процесса и сокращению времени на подготовку производства. Кроме того, методы статистического контроля процессов могут быть применены уже на стадии проектирования, принимая во внимание неотъемлемые статистический «шум» и изменчивость технологических процессов. Поэтому, инженеры-технологи могут рассматривать и решать ключевые производственные проблемы задолго до начала производства, с очевидными преимуществами.

AutoForm-Sigma^{plus} полностью интегрирован в рабочую среду AutoForm. Уникальный продукт, он автоматически анализирует и отображает результаты (например: влияние, чувствительность, подтвержденное качество Cpk) непосредственно на детали – больше не нужно тратить время для исследования абстрактных чисел и диаграмм. Ни одна другая программа не предлагает эту новую методику, которая может быть использована конструкторами штамповой оснастки и технологами, не требуя многолетнего опыта в этой области.

Использование модуля AutoForm-Sigma^{plus} на ранних стадиях проектирования кузова обеспечивает устойчивость конечного продукта к изменениям, происходящим в реальных условиях производства (изменение толщины металла от партии к партии, изменение механических свойств

металла от партии к партии, изменение условий трения, изменения геометрии инструментов вследствие износа и т.д.)

AutoForm-Sigma^{plus} предоставляет следующие преимущества:

- Сокращение времени на подготовку производства и наладку – потому что техпроцесс становится более прозрачным и улучшается его понимание
- Более стабильный производственный процесс в ходе всего производственного цикла – через определение рабочего окна процесса
- Меньшее время заводских простоев, сокращение времени наладки инструмента и меньшее количество дефектов деталей – из-за более устойчивых производственных процессов
- Более устойчивые производственные процессы – через возможность анализа качества и пригодности процесса

Главные особенности AutoForm-Sigma^{plus}:

- Легкое задание параметров процесс
- Автоматический запуск множества расчетов
- Статистические методы, заранее подготовленные для использования
- Определение преобладающих параметров процесса
- Определение влияния и чувствительности параметров
- Автоматизированная оптимизация процесса
- Определение «шума» и изменчивости параметров процесса
- Интеграция статистического контроля процессов (SPC) и модели техпроцесса

- Определение рабочего окна процесса

Глава 4. Разработка методики управления точностью получаемых изделий листовой штамповки в приложении Autoform Sigma для типовой детали.

4.1 Методика управления точностью получаемых изделий листовой штамповки в приложении Autoform Sigma для детали ветровая стойка.

Настоящая методика проектирования технологических процессов листовой штамповки изделий, соответствующих нормам точности в системе САЕ (AutoForm) включает в себя два типа анализа:

- улучшение технологического процесса (systematic process improvement);
- устойчивость технологического процесса (robustness).

В данной работе подробнее остановимся на устойчивости технологического процесса.

Анализировать устойчивость процессов необходимо, так как:

- двух одинаковых изделий с номинальными размерами получить невозможно.
- От удара к удару меняются условия процесса-смазка, усилие прижима, положение заготовки и др.
- От рулона к рулону, и даже внутри одного рулона меняются характеристики материала – толщина, пластичность, прочность, анизотропия.

Одну деталь производят годами, без проблем. Для другой брак может составлять десятки процентов. Первый случай соответствует устойчивому процессу, второй – неустойчивому.

Правильней говорить о робастности, а не о устойчивости. Робастность – способность процесса мало изменяться при изменении входных параметров.

Для анализа устойчивости процесса должны применяться следующие основные положения:

Исходные данные. «Зелёная» базовая симуляция (с настройками для окончательной проверки); Требования по качеству должны заранее определены: например, пружинение $\pm 0,5\text{мм}$, утонение $\leq 0,25$.

Применение AF-Sigma:

1. Необходимо задать настройки, соответствующему анализу устойчивости, а именно типу анализа Sigma – RM, Performance Analysis Noise.

2. Определить параметры процесса и диапазоны их изменения: требуется задать max и min в RE: PA Design, затем перейти в PA Noise.

Заготовка должна удовлетворять следующим значениям:

- толщина $\pm 10\%$
- положение $\pm 1\text{ мм}$
- $\Delta\sigma_0$ и ΔR_m : $\pm 10\%$ от σ_0 , но не менее 20 Мпа (ΔR_m зависим от $\Delta\sigma_0$)
- коэффициенты r: $\pm 20\%$ (зависимые r45 и r90), $\pm 10\%$ для алюминия
- усилие прижима: $\pm 10\%$
- смазка $\pm 10\%$ (кроме вытяжки без прижима)

Точность расчёта:

- стандартная с элементами EPS;

- пружинение свободное или закрепленное для лицевых деталей;
- количество симуляций равно количеству независимых параметров умноженное на 15 для оценки пригодности; количество независимых параметров, умноженное на 25 для оценки процента брака.

3. Проводится обработка результатов - стандартный анализ устойчивости.

Оцениваются:

- пригодность процесса C_p и C_{pk}
- процент брака
- возможность компенсации пружинения

Стандартный анализ результатов для устойчивости показывает, является ли процесс устойчивым, то есть означает, что разброс результатов ограничен. Показатель C_p (потенциальная пригодность) показывает насколько разброс результатов превышает интервал допуска. Если процесс устойчив, то он в принципе может быть улучшен. Показатель C_{pk} (подтвержденное качество) показывает насколько мы далеки от поля допуска. Для предельных верхних значений (критерии разрыва и гофрообразования) используется Upper C_{pk} , для предельных нижних значений (утонение материала) – Lower C_{pk} (рисунок 4.1)

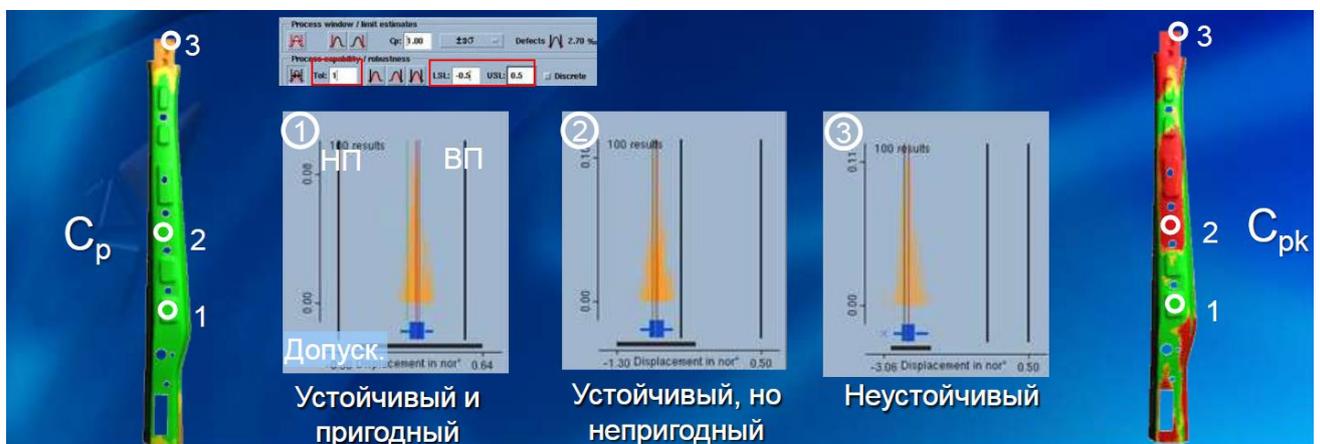


Рисунок 4.1 Индексы пригодности процесса

Преимущества от стандартного анализа устойчивости:

- стандартные рекомендации упрощают работу с модулем AF-Sigma;
- позволяет заранее получить качественную и количественную оценку устойчивости процесса;
- Даёт информацию о пределах допуска;
- Оценивает пригодность процесса для компенсации пружинения и выбирает наилучшую симуляцию для компенсации;
- Решение по повышению устойчивости техпроцесса должно проводиться в рамках процедур по разработке и доводке техпроцессов

Работа в модуле AutoForm-Sigma^{plus} с целью улучшения технологического процесса.

Улучшение технологического процесса направлено на поиск наилучших параметров технологического процесса, при которых будут получены наиболее благоприятные результаты по штампуемости детали.

Подготовка к расчету (Setup)

Подготовка к расчету включает в себя:

Загрузка базовой симуляции (рисунок 4.2)

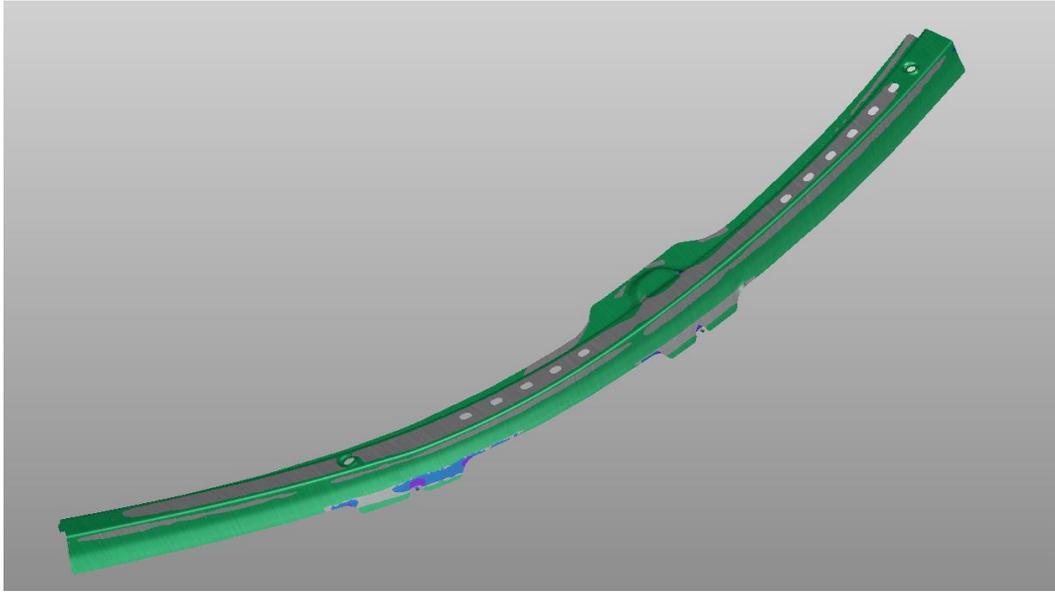


Рисунок 4.2 Результаты расчета базовой симуляции

К базовой симуляции перед расчетом предъявляются следующие важные требования:

- а) обеспечение закрытия прижима;
- б) обеспечение правильного первого контакта заготовки с пуансоном после закрытия прижима (без складок);
- в) при использовании тормозных ребер, задать среднее значение торможения ребра равным 0,35 по всей длине ребра;
- г) убедиться, что в процессе симуляции заготовка не перетекает за геометрию перетяжного ребра.

Задание стандартов для проведения анализа (рисунок 4.3)

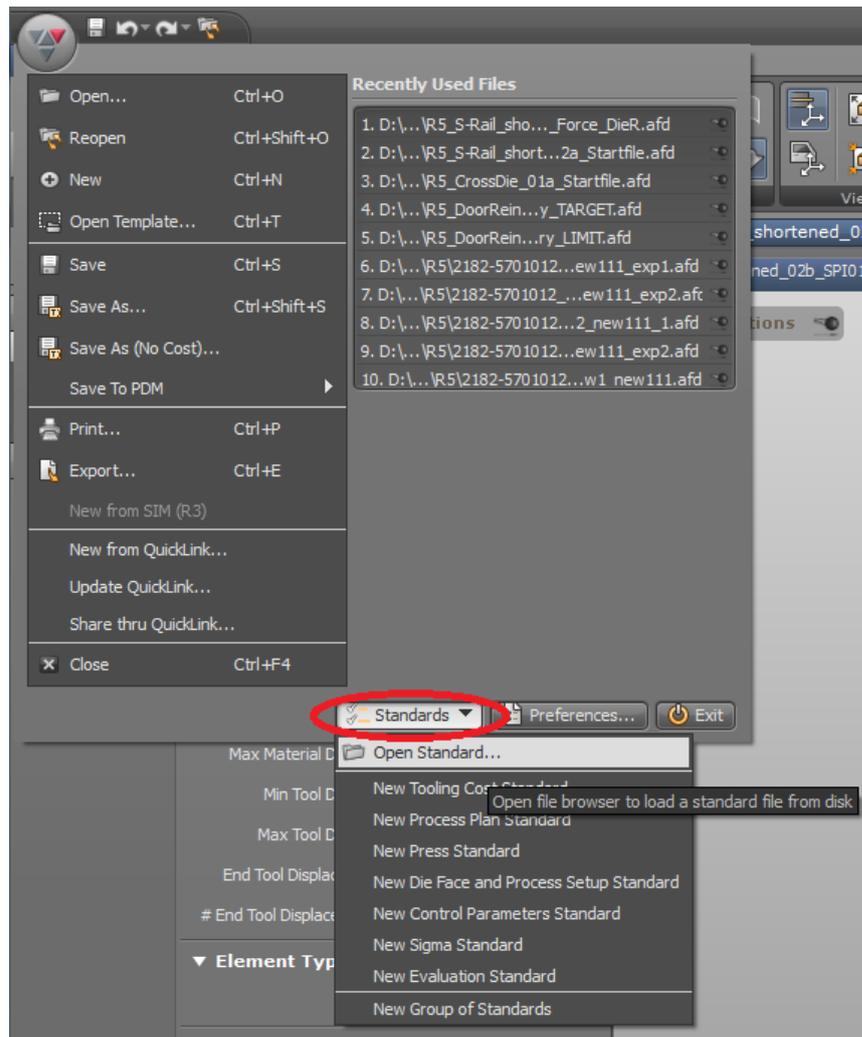


Рисунок 4.3 Выбор стандартов для проведения расчетов

Задание параметров технологической надстройки на вкладке DieFace> Drawing> Addendum> MasterProfileOptions> All для таких параметров как:

- а) радиус матрицы (min и max значения) (рисунок 4.4);
- б) радиус пуансона (min и max значения);
- в) угол наклона стенок технологической надстройки (min и max значения);
- г) линия проема пуансона (min и max значения);
- д) высота валика и контр валика (min и max значения);
- е) усилие прижима (min и max значения) (рисунок 4.5);

ж) коэффициент торможения для перетяжных ребер (min и max значения) на вкладке Process> Drawing> Drawbeads> RestrainingForce> ForceFactor (рисунок 4.6)

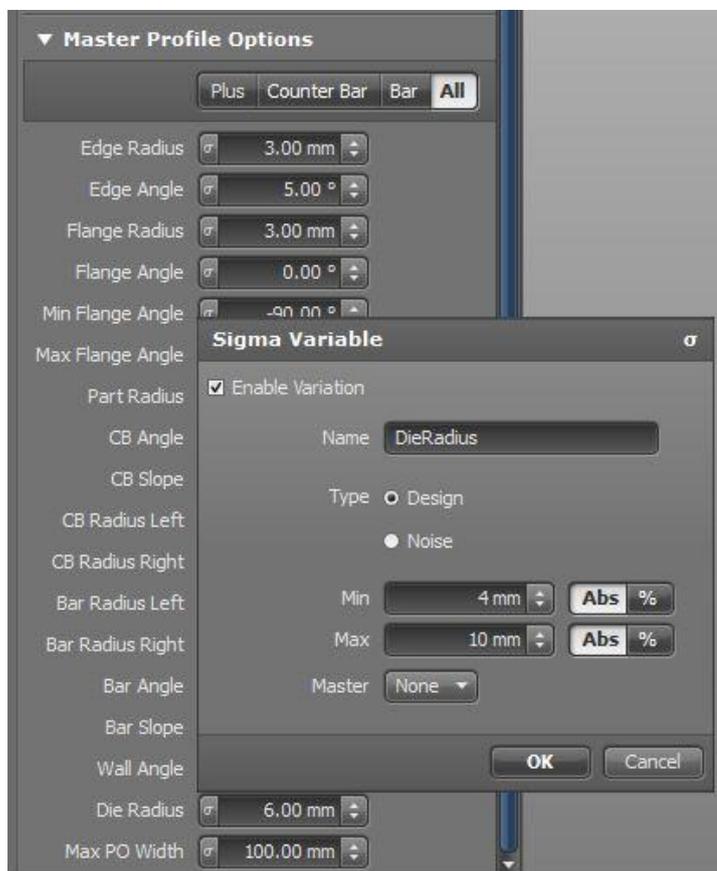


Рисунок 4.4 Задание максимального и минимального значения для радиуса матрицы

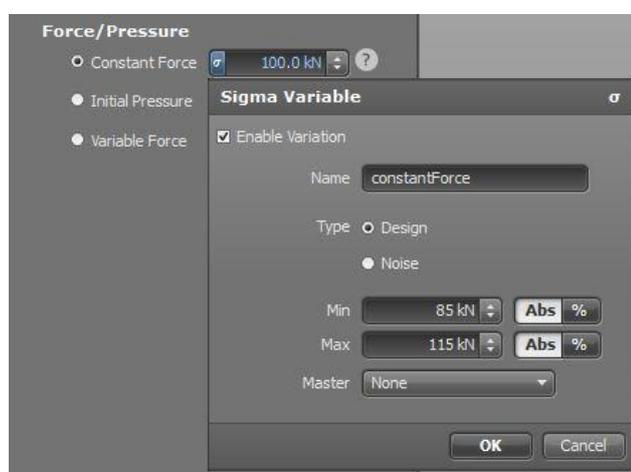


Рисунок 4.5 Задание максимального и минимального значения для усилия прижима

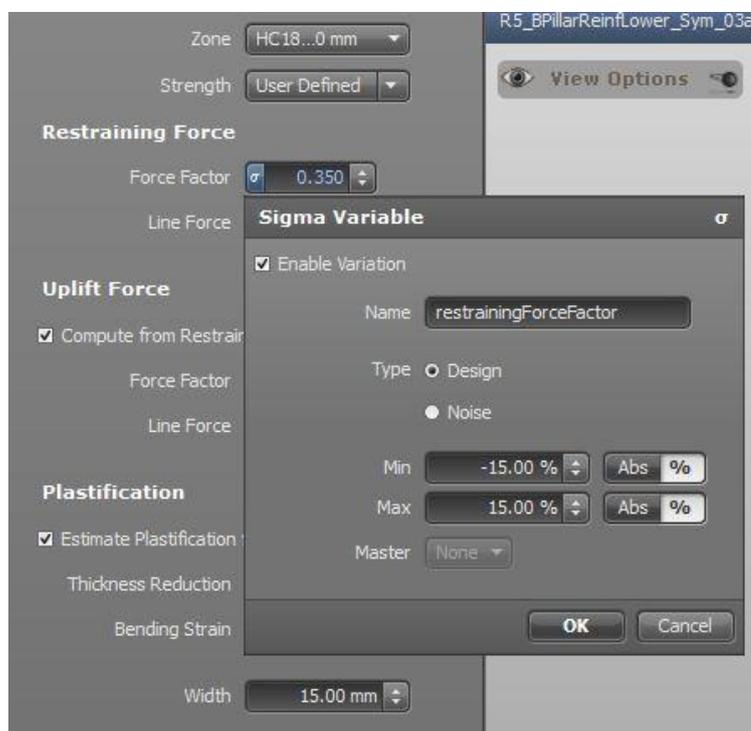


Рисунок 4.6 Задание максимального и минимального значения для коэффициента торможения перетяжных рёбер

Расчёт (Calculation)

Запуск расчёта производится на вкладке Simulation > Start (рисунок 4.7)

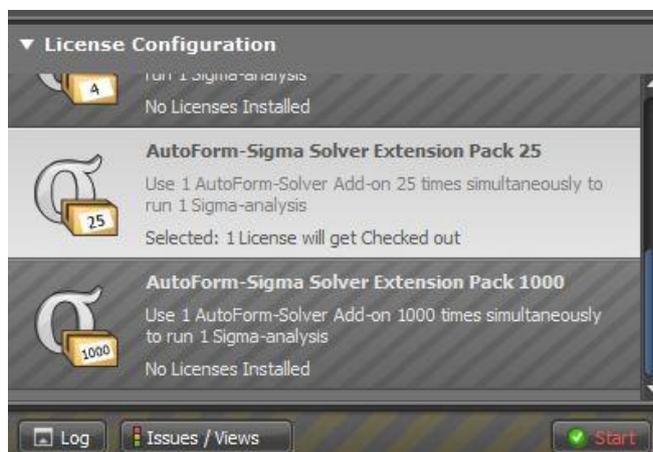


Рисунок 4.7 – Запуск расчёта в модуле AutoForm-Sigma^{plus}

После нажатия кнопки модуль AutoForm-Sigma^{plus} производит множество расчётов при различных комбинациях значений параметров, установленных их максимальными и минимальными значениями.

Анализ результатов (Evaluation)

Результаты расчёта можно увидеть на вкладке Evaluation. В панели «Sigma» необходимо переключиться в режим «Trial» (рисунок 4.8)



Рисунок 4.8 – Включение режима «Trial» в панели «Sigma»

В окне «Setup» можно увидеть диаграмму предельных деформаций (FLD), на которой виден разброс точек для базовой симуляции и для остальных вариантов расчётов. Облако точек остальных вариантов расчётов, полученных в модуле AutoForm-Sigma^{plus}, имеет бледный фон (рисунок 4.9)

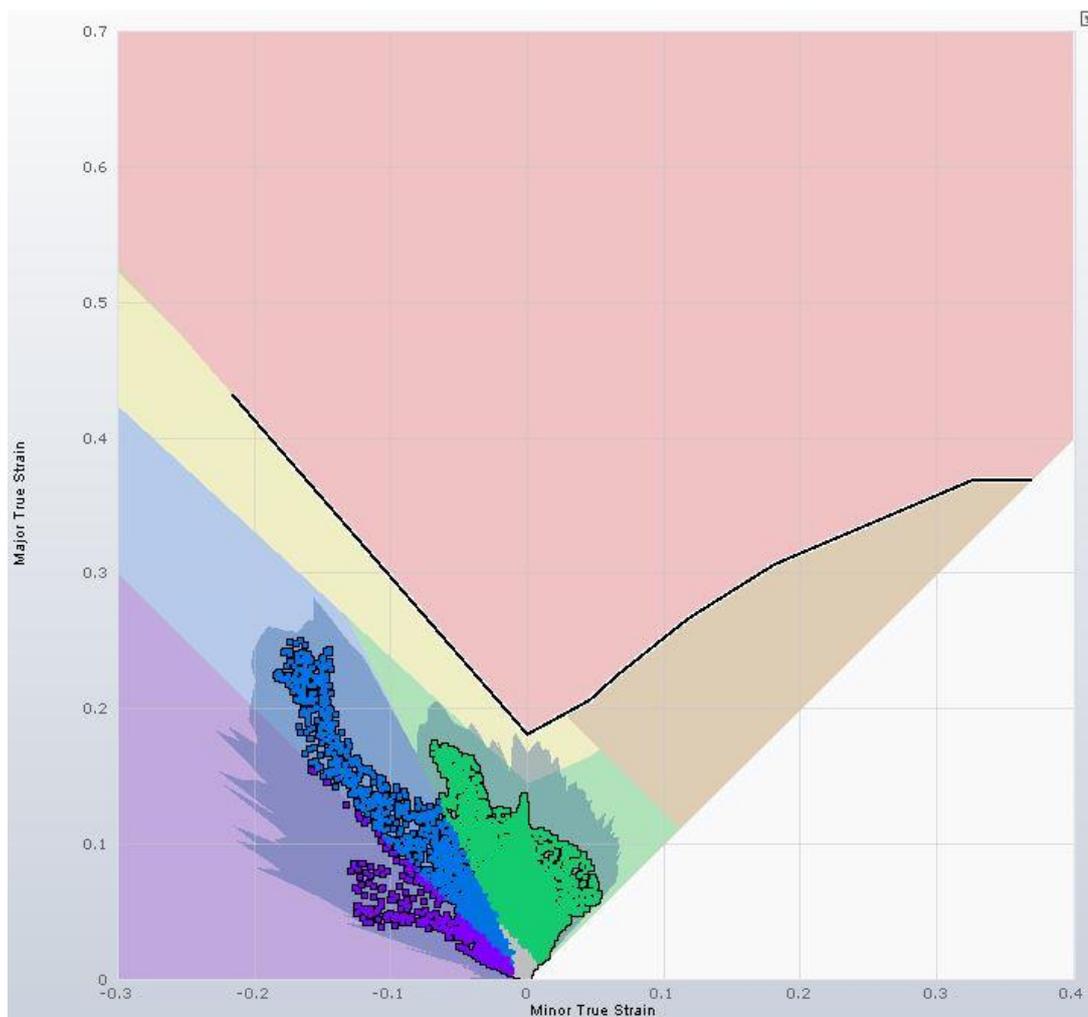


Рисунок 4.9 – Диаграмма предельных деформаций после расчёта в модуле AutoForm-Sigma^{plus}

В окне «Resolve» представлены все параметры, для которых были заданы лимиты изменения их значений (рисунок 4.10)

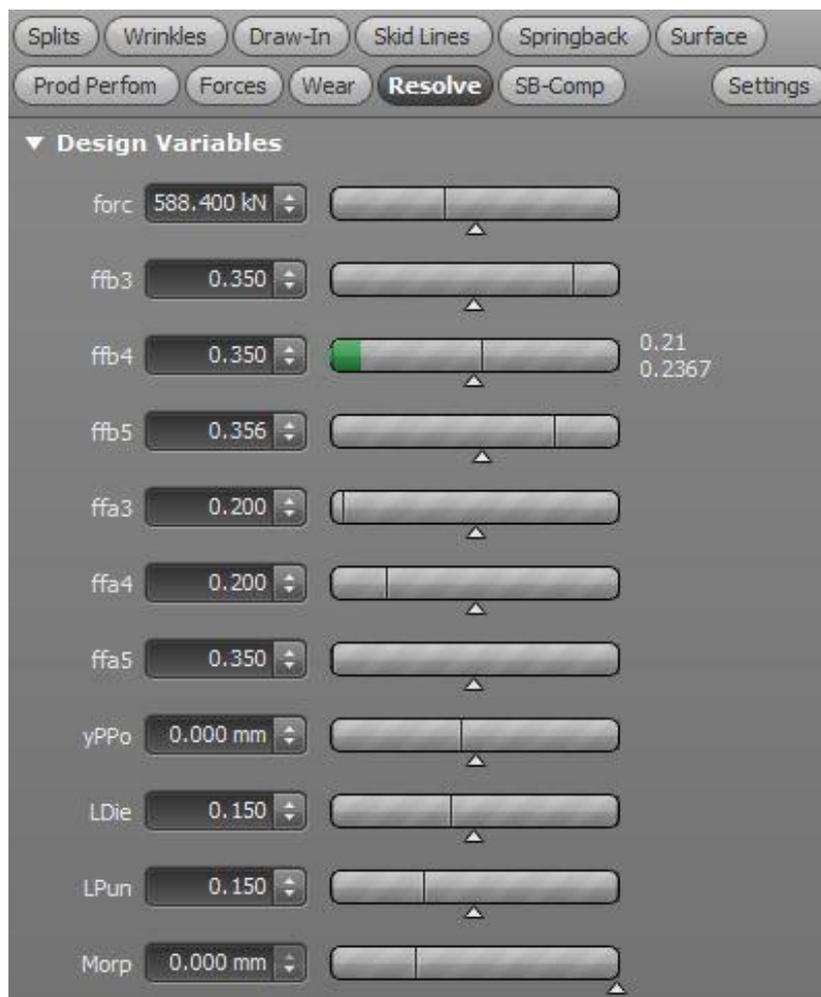


Рисунок 4.10 Изменяемые параметры с заданными лимитами

С помощью ползунков можно вручную изменять значения каких-либо параметров в целях, например, предотвращения разрывов или образования складок, имеющих в базовой симуляции.

В некоторых случаях с помощью кнопки «Resolve» (рисунок 4.11) можно автоматически получить рациональные значения всех параметров, при которых мы будем иметь наиболее благоприятный вариант штампуемости детали.



Рисунок 4.11 Кнопка «Resolve»

В окне «Issues» представлены интересующие нас критерии оценки штампуемости (разрывы, гофры, пружинение и т.д.) (рисунок 4.12)

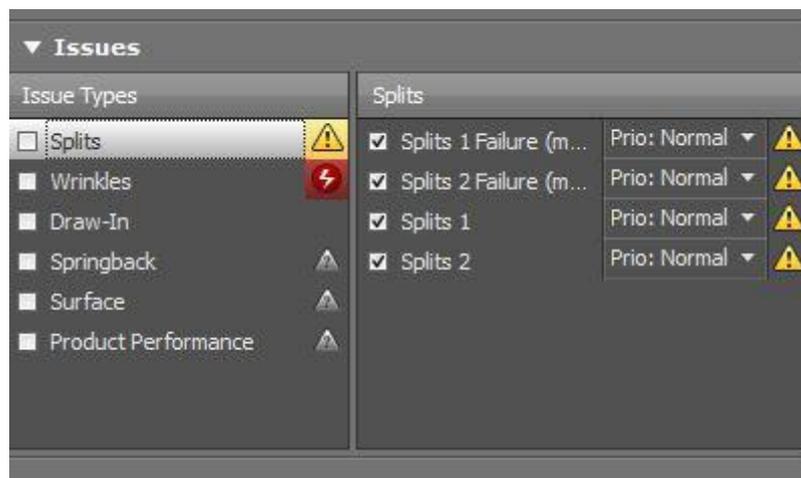


Рисунок 4.12 – Окно «Issues»

Зелёным цветом помечаются критерии оценки, при анализе которых проблем не возникает.

Жёлтым – где имеются небольшие отклонения при определенных значениях параметров.

Красным – где имеются недопустимые отклонения при заданных значениях параметров.

Таким образом, благодаря работе в модуле AutoForm-Sigma^{plus} мы можем изменять определённым образом какие-либо параметры в целях быстрого получения наиболее рациональных результатов штампуемости детали.

Это существенно сокращает трудоёмкость проработки технологичности детали, а также позволяет наглядно видеть влияние тех или иных параметров технологического перехода на критерии оценки технологичности.

Работа в модуле AutoForm-Sigma^{plus} с целью исследования устойчивости технологического процесса

В целом порядок работы в модуле AutoForm-Sigma^{plus} с целью исследования устойчивости технологического процесса идентичен работе по

улучшению технологического процесса. Однако имеются принципиальные логические различия при решении задач на устойчивость.

Устойчивость технологического процесса (Robustness) описывает инженерный подход, где влияние различных вариаций непреднамеренных параметров (шум - Noise) в процессе штамповки, систематически анализируются и в случае определения неустойчивости технологического процесса, предлагаются потенциальные контрмеры, которые могут исправить ситуацию.

В процессе штамповки имеются как фиксированные параметры, такие как геометрия рабочих частей, конструкция детали и т.д. так и меняющиеся параметры имеющие "естественное" рассеивание технологического процесса, такие как:

- усилие прижима;
- положение заготовки;
- смазка;
- толщина и механические свойства материала.

Изменение (нестабильность) этих параметров, как правило, неизбежно в реальном процессе производства. Такие нестабильные условия производства могут вызвать неожиданные проблемы со штампуемостью и пружинением во время работы на программу автомобиля, ведущих к затратам по наладке штампов.

Для обеспечения стабильного производственного процесса с заданными целями требований по качеству, подход по устойчивости технологического процесса (Robustness), наиболее эффективно применять на стадии проектирования технологического процесса прежде, чем проект утвержден и начата механическая обработка рабочих частей штампов.

Задание параметров для расчета

При расчете в модуле AutoForm-Sigma^{plus} на устойчивость технологического процесса (Robustness) имеется возможность задания исходных параметров с помощью заранее определённых стандартов (рисунок 4.13)

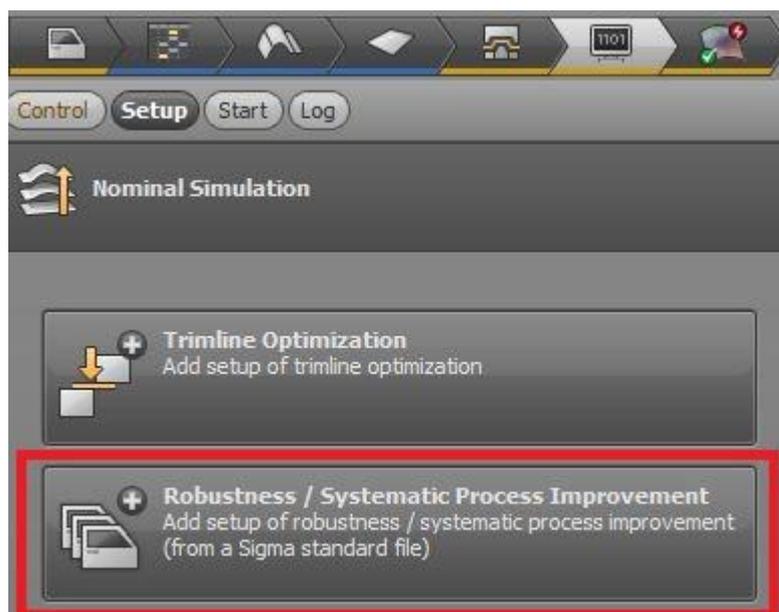


Рисунок 4.13 Выбор стандарта для расчета на устойчивость

В открывшемся окне выбираем тип стандарта, который необходим для решения имеющейся технологической задачи. Также в нижней части этого окна доступны различные кнопки работы со стандартами AutoForm-Sigma^{plus}.

Расчёт (Calculation)

Аналогично работе при улучшении технологического процесса.

Анализ результатов (Evaluation)

Анализ в модуле AutoForm-Sigma^{plus} требует определения и спецификации параметров, которые будут меняться в ходе анализа на устойчивость технологического процесса (Robustness) для достижения желаемых результатов по определению устойчивости процесса.

Все параметры процесса, которые могут быть использованы в качестве переменных отмечены символом «Sigma» (рисунок 4.14) перед поле ввода параметра.

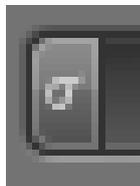


Рисунок 4.14 Символ «Sigma»

Для расчёта на устойчивость технологического процесса (Robustness) используются только переменные так называемого шума процесса (noise).

4.2 Статистический анализ влияния переменных процесса штамповки на пружинение изделия

Анализируем напряженно деформированного состояние деформации и напряжения в показательных зонах (сечениях) детали (рисунок 4.15, 4.16).

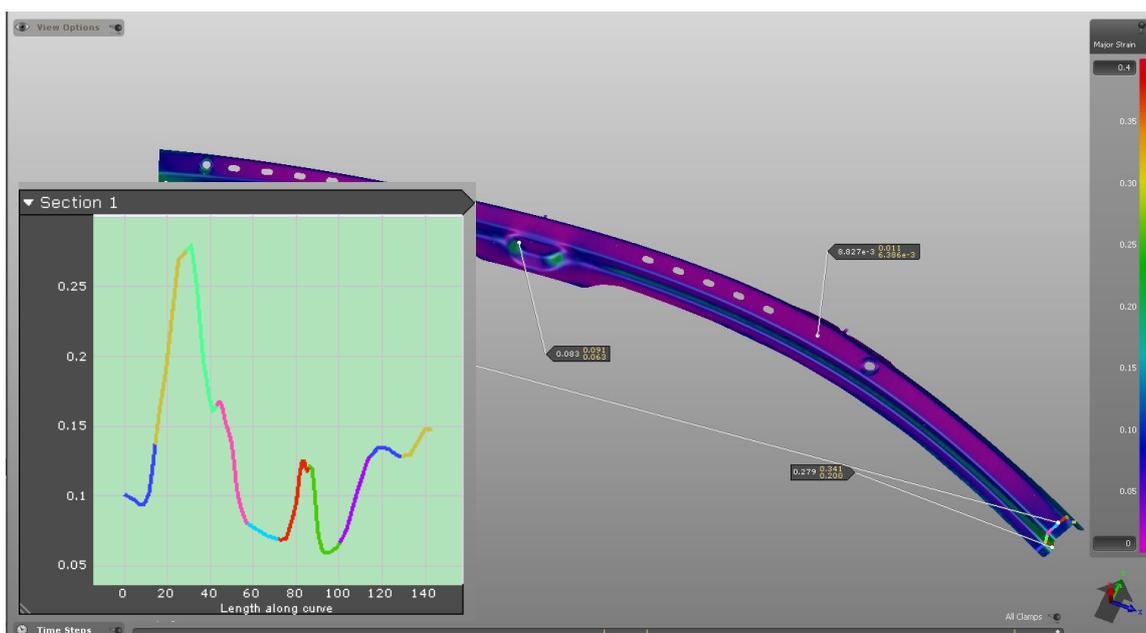


Рисунок 4.15 Анализ НДС деформаций

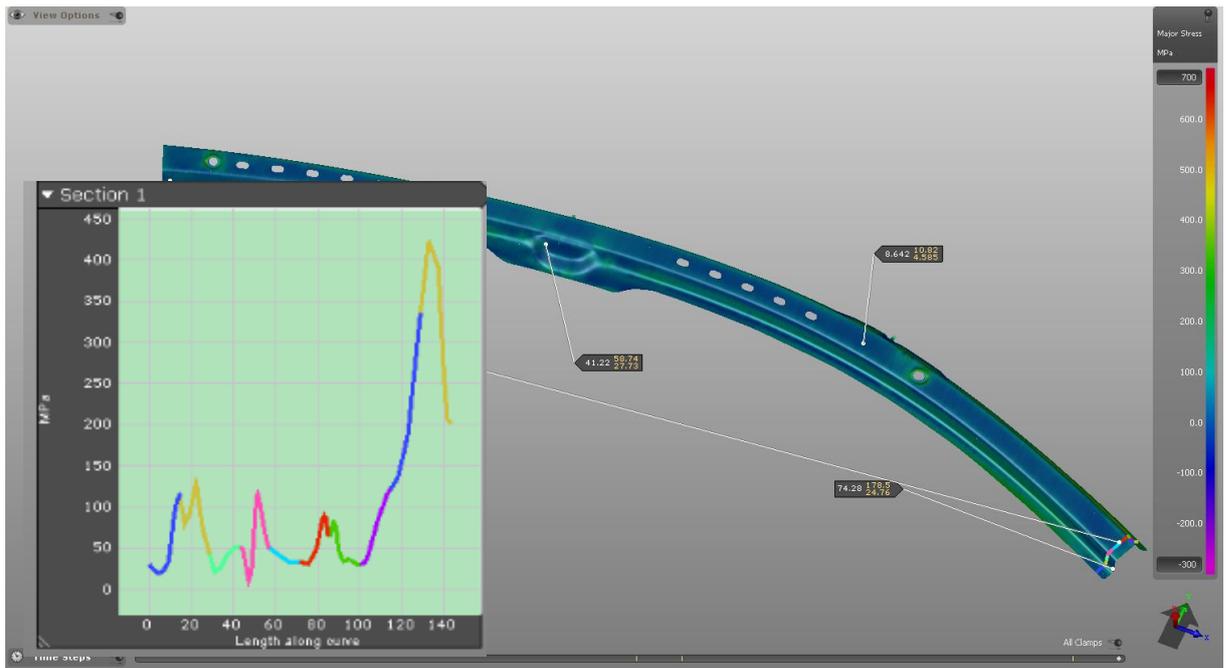


Рисунок 4.16 Анализ НДС напряжений

Рассмотрим также главные деформации и напряжение на операции вытяжка, как основной при возникновении эффекта пружинения (рисунок 4.17, 4.18)

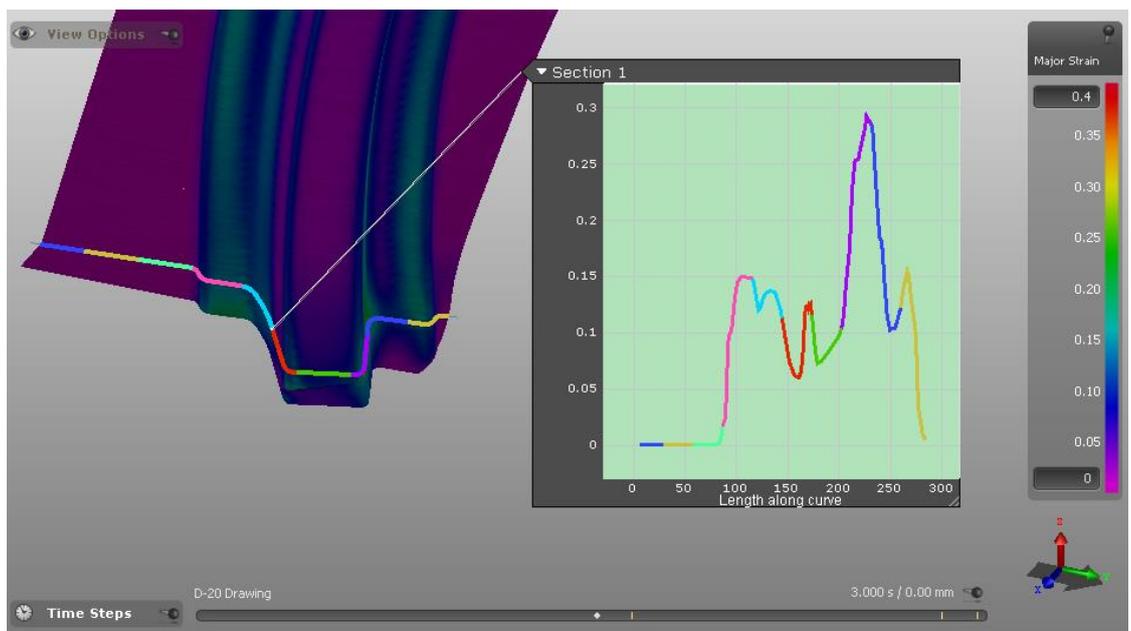


Рисунок 4.17 Главные деформации на операции вытяжка

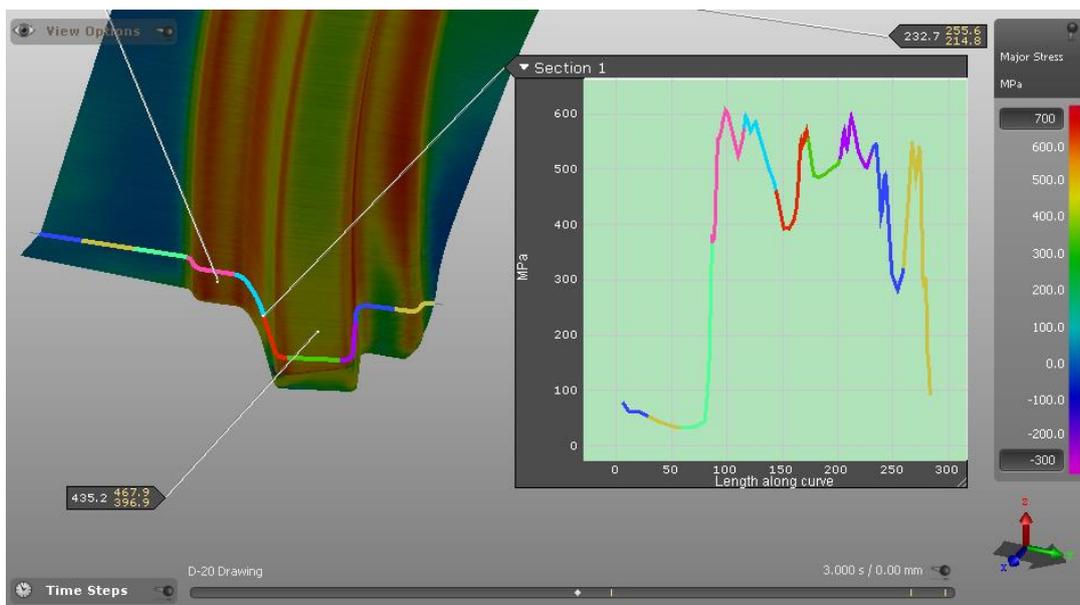


Рисунок 4.18 Главные напряжения на операции вытяжка

Из приведённого выше анализа, видно, что напряжения на данном этапе всего процесса, а именно на операции вытяжка превышают предел текучести материала более чем в два раза.

4.3 Статистический анализ чувствительности процесса пружинения в зависимости от факторов варьирования

Учёт статистических разбросов «шума» входных параметров производился при нормальном законе распределения для следующих величин: усилие, толщина, прочность, предел текучести, смазка, коэффициент трения, положение заготовки.

Оценка точности изделия путём учёта его пружинения в AUTOFORM^{PLUS}SIGMA может быть произведена на основе индексов воспроизводимости процесса СРК и СР (рисунок 4.19, рисунок 4.20).

Проведённые численные эксперименты с помощью AUTOFORM^{PLUS}SIGMA показали, что коэффициенты воспроизводимости технологического процесса СРК и СР удовлетворяют требуемым допускам точности детали.

Для получения качественных изделий «Ветровая стойка» с заданной точностью необходимо произвести компенсацию пружинения и обеспечить стабильность технологических параметров процесса штамповки.

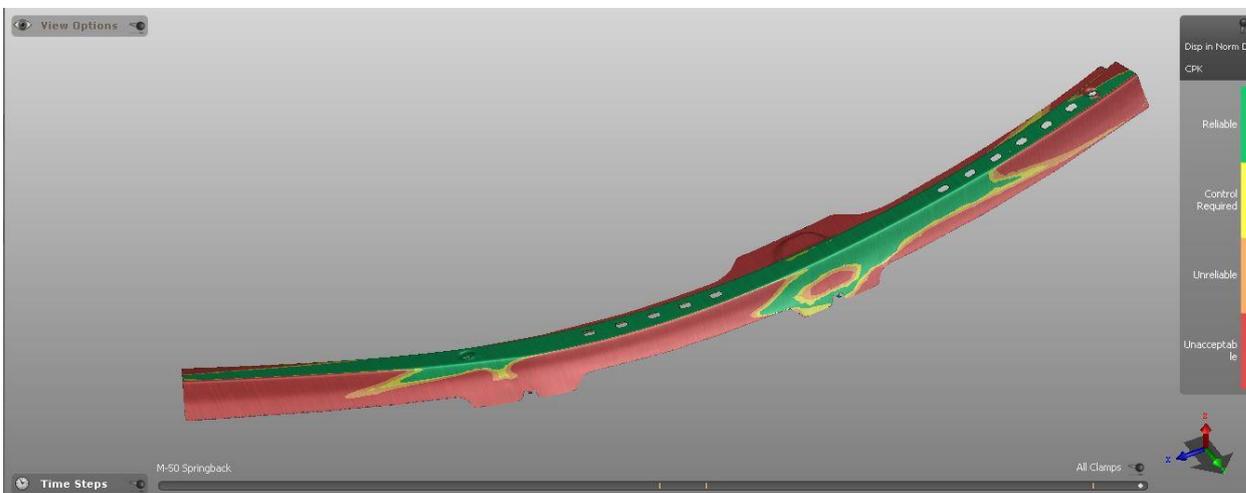


Рисунок 4.19 CPK – индекс пригодности процесса

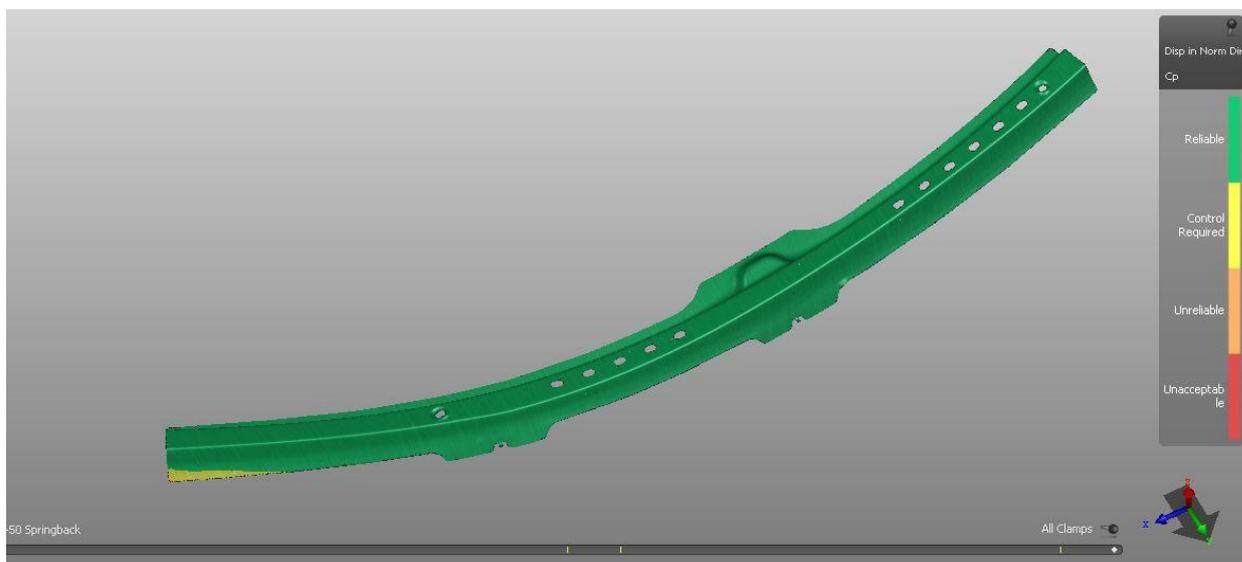


Рисунок 4.20 CP – потенциальная пригодность процесса

Влияние выбранных параметров на полученный результат пружинения осуществляется при помощи гистограммы Парето (рисунок 4.21). Параметрами являются: толщина материала, коэффициент трения, толщина изделия, положение детали на оснастке в процессе укладки (рисунок 4.22).

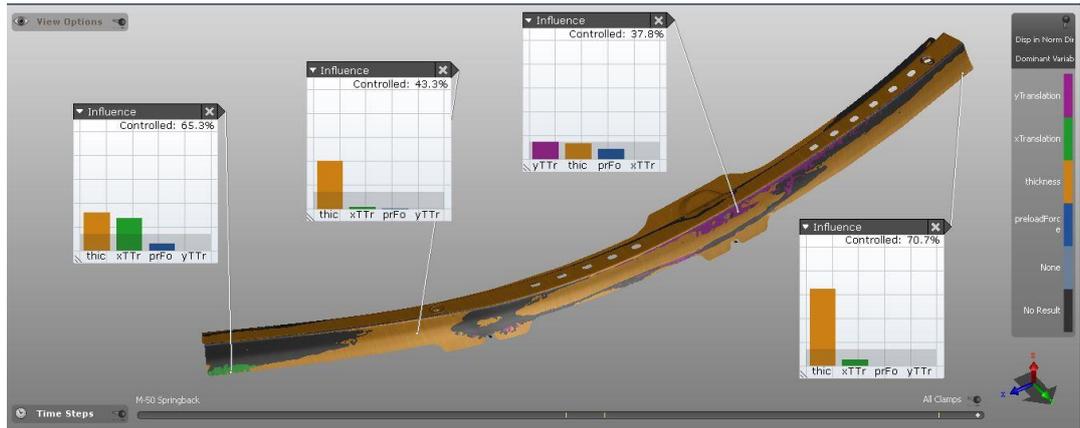


Рисунок 4.21 Гистограмма Парето - влияния переменных процесса штамповки на пружинение изделия

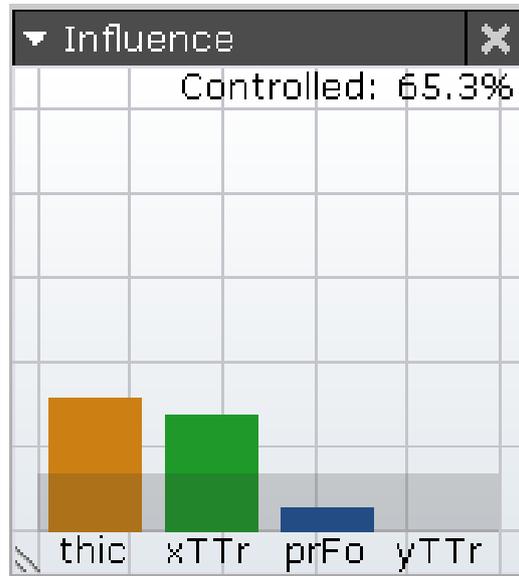


Рисунок 4.22 Параметры гистограммы Парето.

Из данного вида анализа видно, что больше всего на пружинение изделия в данном случае, влияет толщина и положение заготовки в инструменте.

4.4 Оптимизация процесса штамповки типовой детали по критерию минимального пружинения

В результате проделанной работы, на основании методики проектирования технологически процессов листовой штамповки изделий, соответствующих нормам точности в системах САЕ, в данном случае AutoForm, следует, что данная деталь технологична и воспроизводима, что следует из анализа индексов пригодности процесса (CP и CPK). Таким образом, после всех возможных улучшений процесса и имея наилучший вариант сходимости результатов, получаем годную продукцию, что можно увидеть на рисунке 4.23 в виде количества дефектов из партии.

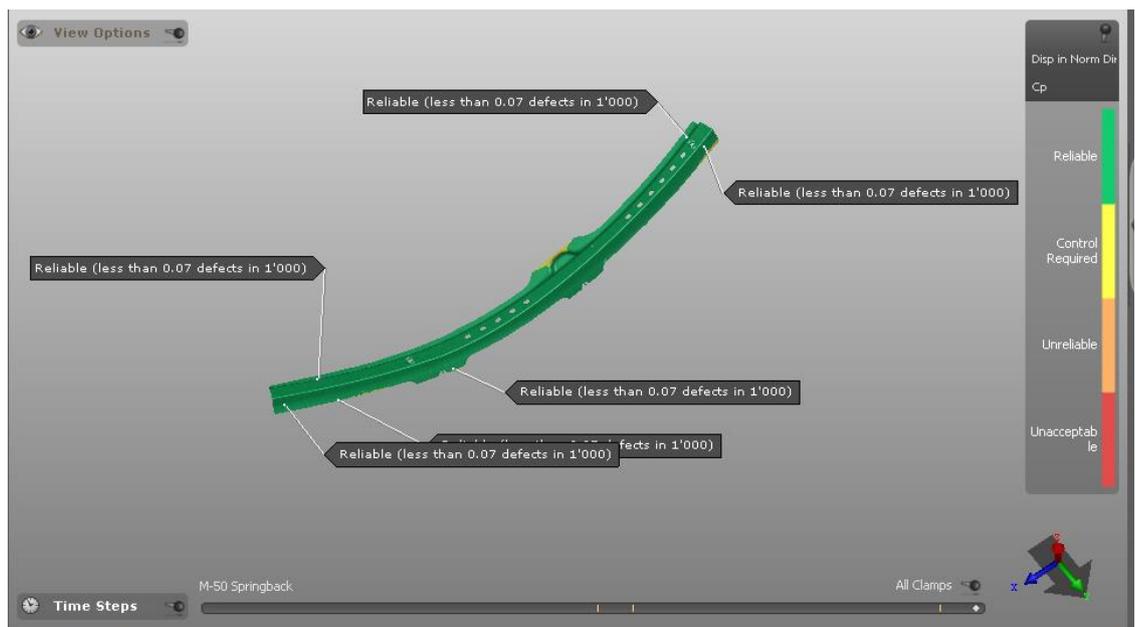


Рисунок 4.23 Скомпенсированное пружинение

При задании на расчет сигма, задаются настройки параметров, допуски и нормы (рисунок 4.24).



Рисунок 4.24 Пример анализа для компенсации пружинения

Точность конструкции деталей кузова автомобиля определяется нормами и стандартами, заложенными в ГОСТах (ГОСТ 2.307-79 ЕСКД, ГОСТ 2.308-79 ЕСКД, ГОСТ 24642-81 и др.), СТП и других нормативных документах, а также выполнением требований ISO 9001 (ГОСТ ISO 9001). Точность изготовления отдельных элементов кузова автомобилей ограничивается стабильностью различных технологических операций с учётом разбросов - «шума» значений параметров геометрии технологии [1].

Наиболее важным ограничивающим фактором, определяющим точность изготовления изделий, является упругое последствие - пружинение.

Точность изделий кузова автомобиля полученных с помощью операций формоизменяющих и разделительных операций штамповки соответствует 10...12 качеству ISO.

В современном проектировании широко используются различные программные пакеты автоматизированного конструирования (CAD), позволяющие разработать оптимальную конструкцию детали.

Методом повышения точности, является компенсация пружинения. Компенсация может быть выполнена на стадии разработки техпроцесса в PAM-STAMP и в AUTOFORM^{PLUS}SIGMA.

Наиболее точные методы компенсации связаны с оптимизацией параметров, которые можно провести в AUTOFORM^{plus}SIGMA, учитывая

разброс отдельных элементов технологических показателей: таких, как усилие прижима, смазка и др.

Инженерный анализ, который осуществляется в CAE системах, представляет собой комплекс численных статистических испытаний на моделях деталей и техпроцесса. Они предназначены для определения показателей геометрии и технологии, обеспечивающих требуемую точность изделий.

Программа AUTOFORM^{PLUS}SIGMA позволяет учитывать многостадийность процесса штамповки, а также производить точный расчёт пружинения и последующей компенсации инструмента с задаваемыми параметрами.

Для оценки точности и стабильности процесса штамповки были проведены стохастические испытания изготовления детали «Ветровая стойка».

Оценка качества производилась на основе 84 процессов моделирования данной технологии.

Заключение

1. Модуль AutoForm-Sigma^{plus} предназначен для инженеров-технологов по холодной листовой штамповке для определения, оценки и обеспечения стабильных условий производства, обеспечивающих заданные цели требований по качеству. В основе работы модуля используются методы статического управления процессами.

2. Данный программный модуль применяется всеми ведущими автомобилестроительными фирмами для улучшения качества продукта и технологического процесса при проектировании технологии штамповки деталей кузова автомобиля на этапах:

- подготовки производства;
- наладки штамповой оснастки;
- сопровождения действующего производства.

3. Модуль AutoForm-Sigma^{plus} используется на ранних стадиях проектирования кузова и обеспечивает устойчивость конечного продукта к изменениям, происходящим в реальных условиях производства:

- изменение толщины металла от партии к партии согласно техническим условиям поставки;
- изменение механических свойств металла от партии к партии согласно техническим условиям поставки;
- изменение условий трения;
- изменение геометрии вследствие износа инструментов;

- оптимизация размеров заготовки, нацеленная на увеличение коэффициента использования материала и т.д.

4. На более поздних стадиях проекта модуль AutoForm-Sigma^{plus} используется для решения технологических задач действующего производства, таких как:

- поддержка наладки в действующем производстве;
- поддержка обслуживания штампов;
- сокращение времени и затрат на наладку штампов.

4. Для успешного применения AUTOFORM^{PLUS}SIGMA необходимы:

- Современная компьютерная техника – многоядерные процессоры или кластеры (не менее 16 параллельных процессов), достаточные объёмы дисковой памяти (минимум 1 ТБ)
- Использование стандартных предложений AutoForm-Sigma
- Возможные организационные изменения – более тесная связь с лабораторией, с участком наладки штампов, с прессовым производством

5. Разработан метод проектирования технологических процессов листовой штамповки изделий, соответствующих нормам точности в системе САЕ. Данный метод предлагается внедрить в производство, что позволит повысить эффективность разработки технологических процессов получения деталей за счёт возможности прогнозирования поведения деталей в процессе технологического процесса.

Список литературы

1. Романовский В.П., Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1971
2. Ковалёв В.Г., Ковалёв С.В. Технология листовой штамповки. Технологическое обеспечение точности и стойкости: учебное пособие / В.Г. Ковалёв, С.В. Ковалёв. — М.: КНОРУС, 2010. — 224 с.
3. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. Машиностроение, 1968-283с.
4. Аверченков В.И. Формализация построения и выбора прогрессивных технологий, обеспечивающих требуемое качество изделий: Дис. д-ра техн. наук. - Тула., 1990. - 315 с.
5. Автоматизация проектирования технологических процессов в машиностроении /В.С. Корсаков, Н.М. Капустин и др. М.: Машиностроение, 1985. - 304 с.
6. Автоматизированное проектирование и производство в машиностроении/ Ю. М. Соломенцев, В. Г. Митрофанов, А. Ф. Прохоров и др.; под общ.ред. Ю. М. Соломенцева, В. Г. Митрофанова. М.: Машиностроение, 1986. - С. 7 - 68.
6. Автоматизированные системы технологической подготовки производства в машиностроении / Под ред. Т.К. Горанского. М.: Машиностроение. 1976. - 240 с.
7. Адаптивное управление технологическими процессами / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов и др. М.: Машиностроение, 1980. - 536 с.
8. Адлер Ю.П., Шпер В.Л. Современные передовые методы обеспечения качества продукции// Вестник машиностроения 1994. № 5.- С.34 - 38.

9. Балакшин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения: В 2-х кн. М.: Машиностроение, 1982 - Кн. 1. Технология станкостроения. - 1982. -239 с.
10. Бахтин Б.И., Гах В .Я., Захарова Г.А. и др. Система автоматизированного проектирования машиностроительных предприятий // ЭВМ в проектировании и на производстве. Вып. 2. /Под общ.ред. Г.В. Орловского. Л.: Машиностроение 1985. С.227-238.
11. Вальков В.М., Вершин В.Е. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. JL: Машиностроение, 1977. - 238 с.
12. Все о качестве. Зарубежный опыт. Выпуск 1. Контроль производственного процесса: Обзор/ Составитель Н.П. Бородкина М.: НТК «Трек», 1993. - 16 с.
13. Грувер М., Зиммерс Э. САПР и автоматизация производства / Перевод с англ. М.: Мир, 1987. - 528 с.
14. ИСО 9000-1-1994. Общее руководство качеством и стандарты по обеспечению качества. Часть 1. Руководящие указания по выбору и применению
15. Колев К.С. Технология машиностроения. М.: Высшая школа, 1977. -256 с.
16. Корсаков В.С. Точность механической обработки. М.: Машгиз, 1961. -379 с.
17. Косов М.Г. Моделирование точности при автоматизированном проектировании и эксплуатации металлорежущего оборудования: Автореф. дис. .д-ра техн. наук.-М., 1985.-48 с.
18. Робертсон Б. Что такое индекс Срк? // Надежность и контроль качества. 1995. №4, 6.-С.100-110.
19. САПР в технологии машиностроения /Митрофанов В.Г., Калачев О.Н., Схиртладзе А.Г. и др. Ярославль: Ярославский ГТУ, 1995. - 298 с.
20. САПР. Общие принципы разработки математических моделей объектов проектирования: Методические рекомендации. М.: ВНИИмаш, 1980. - 190 с.

21. Статистические методы повышения качества/ Под. Ред. Х. Кумэ. М.: Финансы и статистика, 1990. - 304 с.
22. Строганов Г.Б. Научно-технический прогресс в машиностроении. - Вестник машиностроения, № 1, 1991, с. 17-18.
23. Ступаченко А.А. САПР технологических операций. Д.: Машиностроение, 1988. - 234 с.
24. Шаев Е.Я. Исследование влияния отклонений формы поверхности деталей на их положение в машине. Автореф. дис. .к-та техн. наук. М., 1980.- 25 с.
25. Шпер В.Л. Передовые зарубежные методы обеспечения качества продукции// Надежность и контроль качества. 1991. - № 10. - С.9-3.
26. R.A. Lingbeek, University of Twente/ INPRO //Aspects of a designtool for springback compensation. – Master`s Thesis. – 2004
27. Karafillis, A.P., M.C. Boyce, ‘Tooling design in sheet metal forming using springback calculations’, Int. J. Mach. Tools. Manuf., 34, p.113, 1992
28. Burr, I. R. (1976). Statistical Quality Control Methods Marcel Dekker, New York.
29. Holmberg S., Thilderkvist P. Influence of material properties and stamping conditions on the stiffness and static dent resistance of automotive panels // Materials & Design. 2002. Vol. 23, Iss. 8. P. 681–691.
30. Choudhury I.A., Lai O.H., Wong L.T. PAM-STAMP in the simulation of stamping process of an automotive component // Simulation Modelling: Practice and Theory. 2006. Vol. 14, Iss. 1. P. 71–81.

Приложение 1

Содержание

1. Общие положения.....3
 2. Улучшение технологического процесса.....4
 3. Устойчивость технологического процесса..... 12
 4. Практический пример.....16

Иniv. № подл.	Подпись и дата				Иniv. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата				Лист
	Изм	Лист	№ Докум.	Подп.			Дата	2			

1. Общие положения

Данный модуль применяется всеми ведущими автомобилестроительными фирмами для улучшения качества продукта и устойчивости технологического процесса при штамповке деталей кузова автомобиля.

Использование модуля AutoForm-Sigma^{plus} на ранних стадиях проектирования кузова обеспечивает устойчивость конечного продукта к изменениям, происходящим в реальных условиях производства:

- изменение толщины металла от партии к партии согласно ТУ;
- изменение механических свойств металла от партии к партии согласно ТУ;
- изменение условий трения;
- изменение геометрии вследствие износа инструментов;
- оптимизация размеров заготовки, нацеленная на увеличение КИМ и т.д.

Модуль AutoForm-Sigma^{plus} используется на более поздних стадиях проекта для решения технологических задач действующего производства:

- поддержка наладки в действующем производстве
- поддержка обслуживания штампов

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата						Лист
										3
Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата						

2. Улучшение технологического процесса

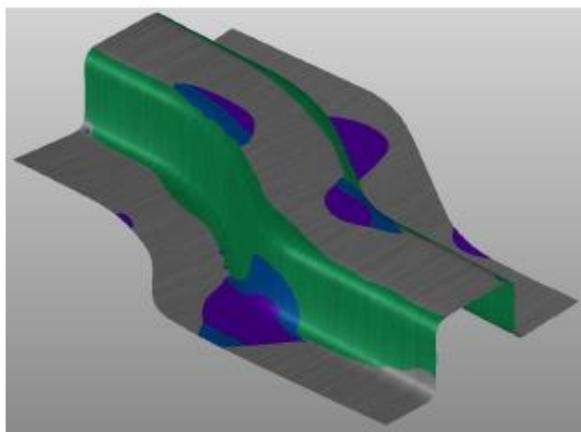
Модуль AutoForm-Sigma^{plus} включает в себя два вида анализа, один из которых, это анализ на улучшение технологического процесса.

Улучшение технологического процесса направлено на поиск наилучших параметров технологического перехода, при которых будут получены наиболее благоприятные результаты по штампуемости детали.

Анализ на улучшение технологического процесса включает в себя следующие этапы:

1) Подготовка к расчету (Setup)

а) Загрузка базовой симуляции



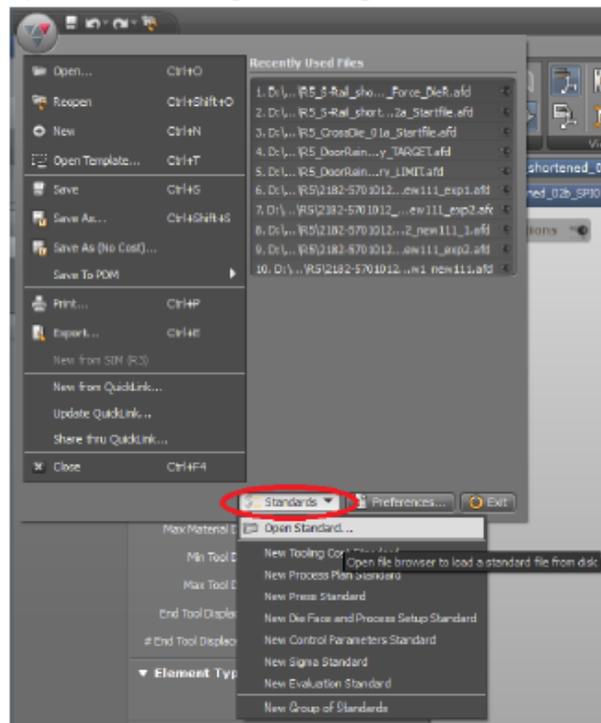
К базовой симуляции перед расчетом предъявляются следующие важные требования:

- обеспечение хорошего закрытия прижима;
- обеспечение хорошего первого контакта заготовки с пуансоном после закрытия прижима (без складок)
- при использовании тормозных ребер, задать среднее значение торможения ребра равным 0,35 по всей длине ребра;
- убедиться, что в процессе симуляции заготовка не перетекает за геометрию ребра.

Инь. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Инь. № дубл.
Подпись и дата	

Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата	Лист
					4

б) Задание стандартов для проведения анализа

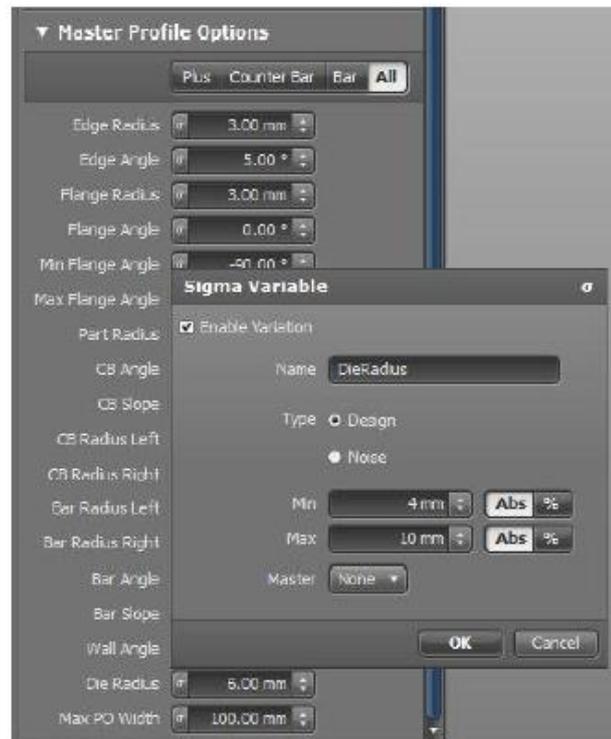


в) Задание лимитов, по возможности, для таких параметров как:

- геометрия перехода (радиуса матрицы, пуансона; наклон стенок технологической надстройки);

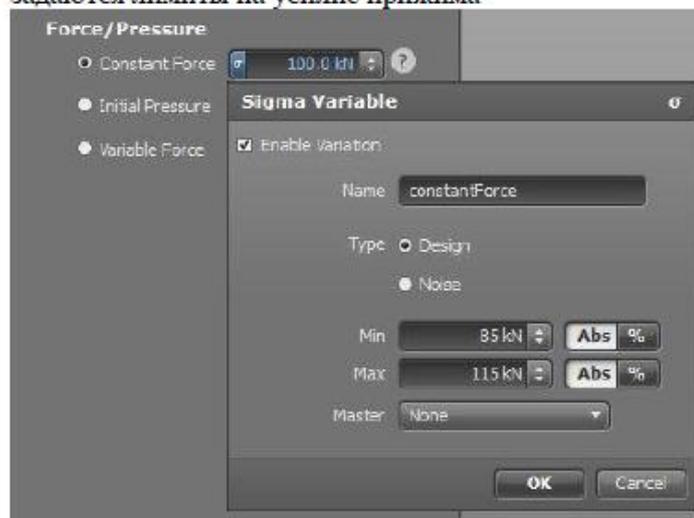
На вкладке Die Face > Drawing > Addendum > Master Profile Options > All можно задать лимиты всех этих параметров (min и max значения)
Например, задается лимит значения радиуса матрицы от 4 до 10 мм

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата						Лист
										5
					Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата	



- усилie прижима;

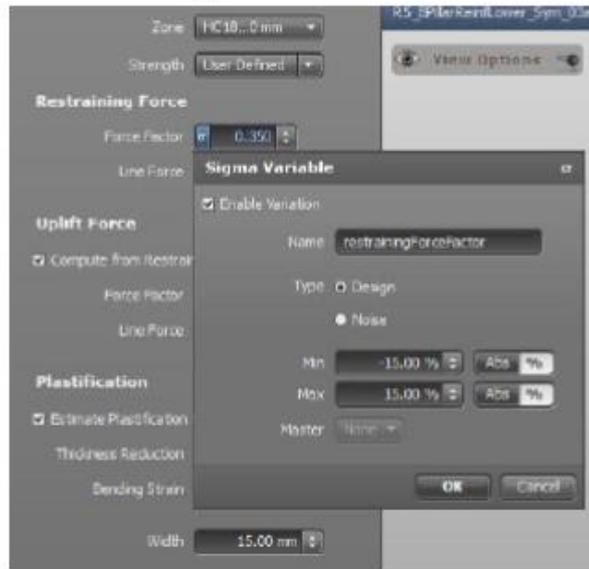
На вкладке Process > Drawing > Tools > Force Pressure > Constant Force задаются лимиты на усилie прижима



Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата	Лист
					6
Инт. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инт. № дубл.	Подпись и дата	

- коэффициент торможения для тормозных ребер;

На вкладке Process > Drawing > Drawbeads > Restraining Force > Force Factor можно задавать лимты коэффициента торможения ребер (min и max значения)



- коэффициент трения (использование смазки).

2) Расчет (Calculation)

Запуск расчета производится на вкладке:

Simulation > Start



В модуле «Sigma» производится множество расчетов при различных комбинациях значений параметров, установленных их лимитами.

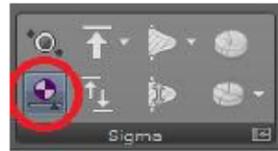
Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата
Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата

Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата	Лист
					7

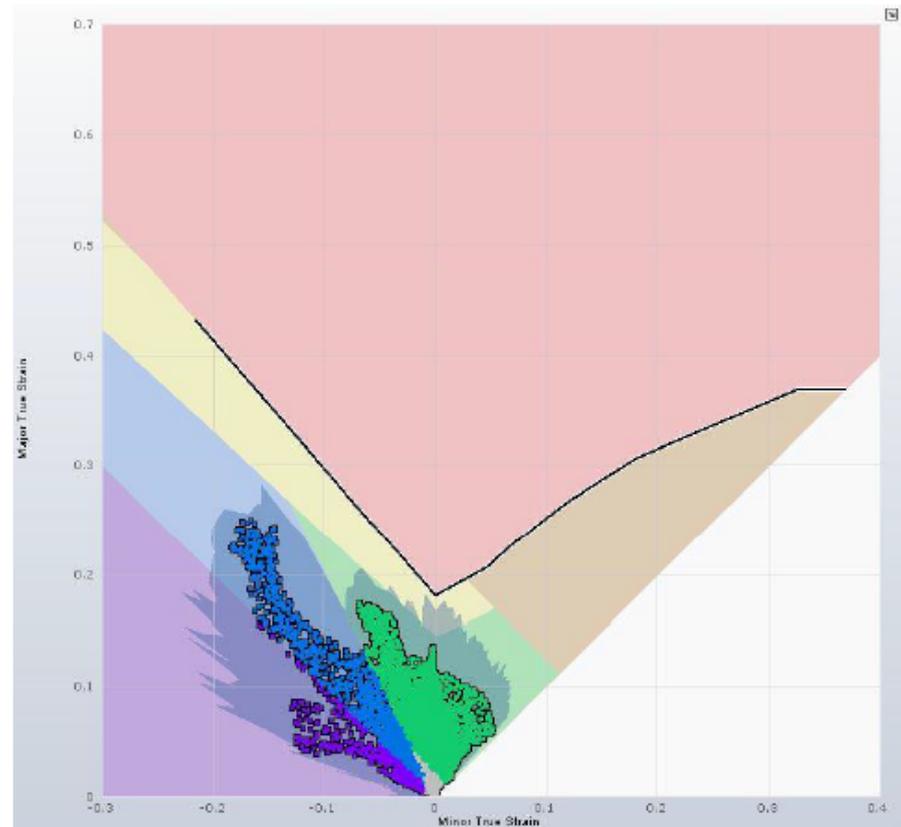
3) Анализ результатов (Evaluation)

Результаты расчета можно увидеть на вкладке Evaluation

В панели «Sigma» необходимо переключиться в режим «Trial»



В окне «Setup» можно увидеть диаграмму предельных деформаций FLD, на которой виден разброс точек для базовой и симуляции, а также для всех других вариантов расчетов полученных в Sigma (бледный фон)



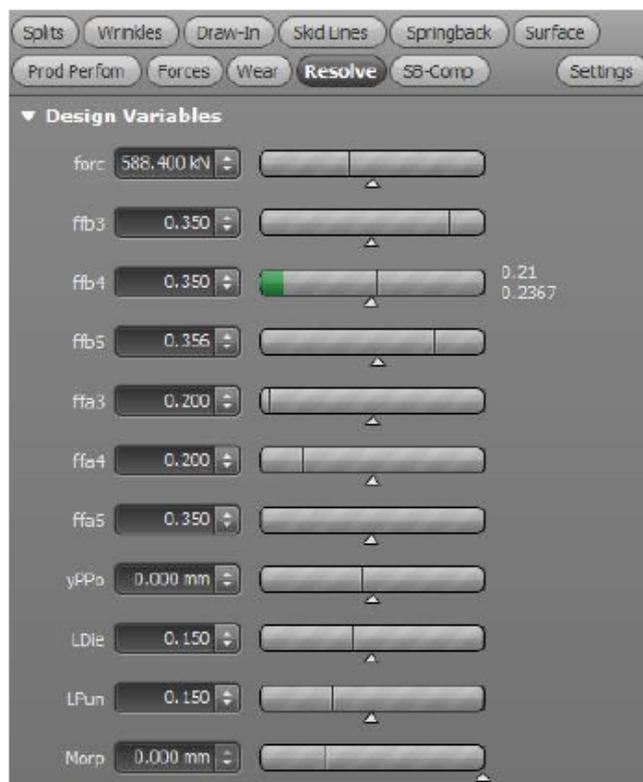
В окне «Resolve» представлены все параметры для которых были заданы лимиты изменения их значений.

Имя	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата
Имя, № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изм. № дубл.	Подпись и дата

Имя	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата

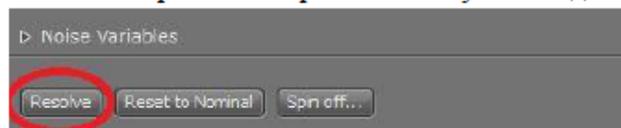
Лист

8



С помощью ползунков можно в ручную изменять значения каких-либо параметров в целях, например, предотвращения разрывов или образования складок, имеющихся в базовой симуляции.

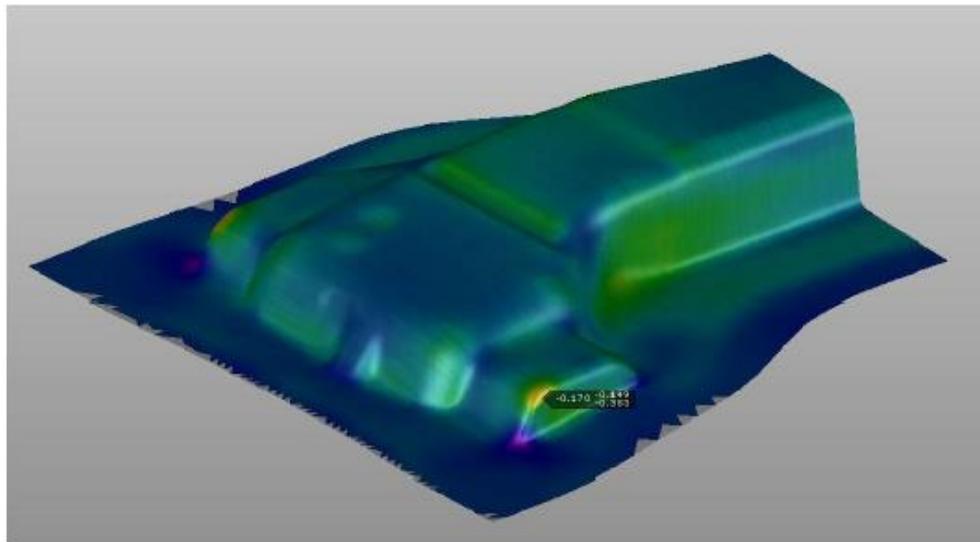
В некоторых случаях с помощью кнопки «Resolve» можно автоматически получить рациональные значения всех параметров, при которых мы будем иметь наиболее благоприятный вариант штампуемости детали.



В окне «Issues» представлены интересующие нас критерии оценки штампуемости (разрывы, гофры, пружинение и т.д.)

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата	Лист
					9



Таким образом, благодаря модулю AutoForm-Sigma^{plus} мы можем изменять определенным образом какие-либо параметры в целях быстрого получения наиболее рациональных результатов штампуемости детали.

Это существенно сокращает трудоемкость проработки технологичности детали, а также позволяет наглядно видеть влияние тех или иных параметров технологического перехода на критерии оценки технологичности.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата						Лист
										11
Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата						

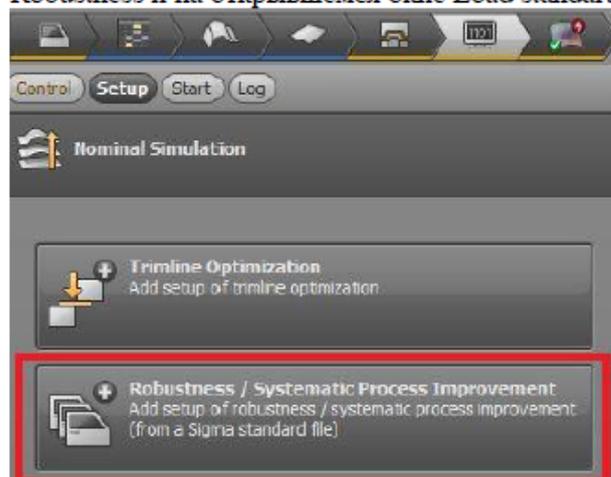
3.2. Задание параметров для расчета

При расчете в AutoForm - Sigma на устойчивость технологического процесса (Robustness) имеется возможность задания исходных параметров двумя способами:

- С помощью заранее определенных стандартов
- Ручная настройка

Использование стандартов:

Впервые задание стандартов доступно на вкладке Setup. Выбираем иконку Robustness и на открывшемся окне Load standart выбираем необходимый нам.



Вторая возможность применить Sigma Standart имеется для любого используемого в данный момент в AutoForm проекта.

Для этого выбираем иконку стандартов



В открывшемся окне выбираем тип стандарта, который будет использоваться и через Load, в нижней части окна, выбираем необходимый нам. Также в нижней части этого окна доступны различные кнопки работы со Sigma Standart.

Список всех параметров, которые будут использоваться как Sigma Standart корректируются стандартным редактором. Файл Sigma Standart представляет из себя определенную конфигурацию параметров процесса, позволяющих провести анализ устойчивости технологического процесса. Он может быть использован в качестве быстрой настройки, чтобы определить стандартные переменные факторы влияющие на устойчивость технологического процесса в соответствии со стандартом предприятия.

Ручная настройка:

Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата
Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата

Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата	Лист
					13

Анализ в AutoForm - Sigma требует определения и спецификации параметров, которые будут меняться в ходе анализа на устойчивость технологического процесса (Robustness) для достижения желаемых результатов по определению устойчивости процесса. Эти входные параметры для анализа в AutoForm - Sigma называются Sigma переменные (variables).

Все параметры процесса, которые могут быть использованы в качестве Sigma переменных отмечены символом Sigma перед поле ввода, для этого требуется нажать иконку :



Для расчета на устойчивость технологического процесса (Robustness) используются только переменные так называемого шума процесса (noise). В начале анализа на устойчивость технологического процесса (Robustness) должна быть выбрана исходная (номинальная) симуляция.



Меняя значение Sigma переменных мы можем также получить результаты за пределами диапазона заданных значений переменных Sigma. В результате этого мы получаем облако результатов которые можем сравнить с номинальной симуляцией получая все возможные варианты процесса используется для отображения результатов всех вариантов (так называемые Реализации

Определение параметров шумовых переменных(Noise):

Следующие опции доступны для определения шумовых переменных (Noise) при проведении анализа AutoForm – Sigma на устойчивость технологического процесса (Robustness):

Задание вариативности анализа AutoForm – Sigma:

Используем флажок(галочку) напротив переменной, влияние которой на технологический процесс мы хотим оценить, чтобы включить или отключить влияние шумовых переменных (Noise). По умолчанию выбрано Enable, т.е. влияние шумовых переменных (Noise) применяется к текущему определенному анализу AutoForm – Sigma. При снятии флажка(галочки) отключаем влияние шумовой переменной (Noise), то есть не применяем в текущем определенном анализе AutoForm – Sigma.

Название переменных:

Имя (название) переменных указывается стандартными терминами AF,

Имя, № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инд. № дубл.	Подпись и дата						Лист
										14
Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата						

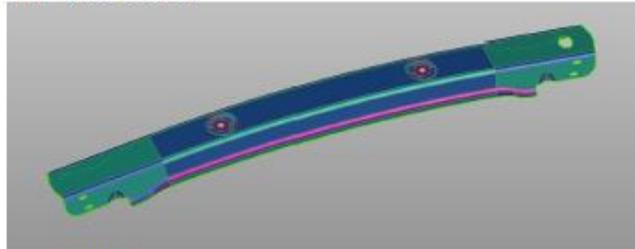
4. Практический пример

Исходные данные:

Цифровая модель детали (.CATpart)

Марка материала DP780

Толщина 2.5мм



Задача:

Оценить средствами модуля AutoForm-Sigma^{plus} технологический процесс производства данной детали с точки зрения устойчивости к изменяющимся условиям производства.

Решение:

Для начала необходимо разработать технологический процесс производства детали, оценить существующие проблемы.

Формообразование данной детали предложено выполнять гибкой.

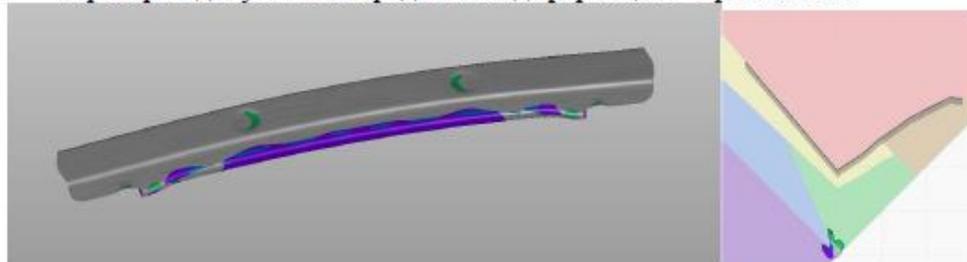
Использовать точную заготовку.

Весь технологический процесс будет состоять из следующих операций:

- вырубка заготовки
- гибка
- пробивка, клиновая пробивка

Полученные результаты одного расчета:

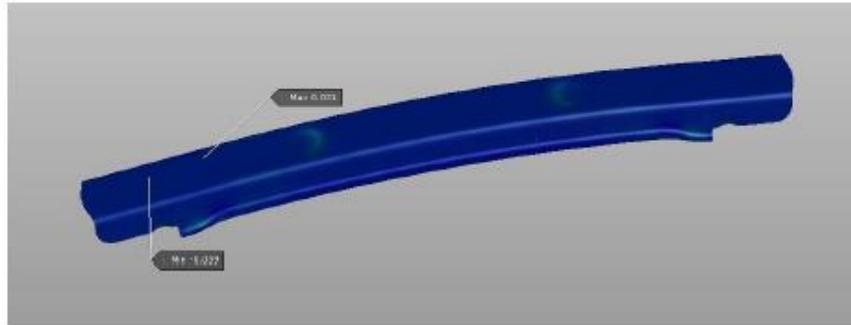
Критерий допустимых предельных деформаций – проблем нет



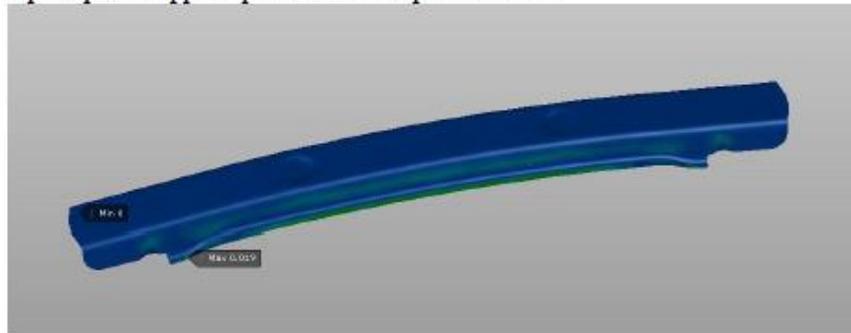
Критерий утонения – проблем нет

Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата	Лист

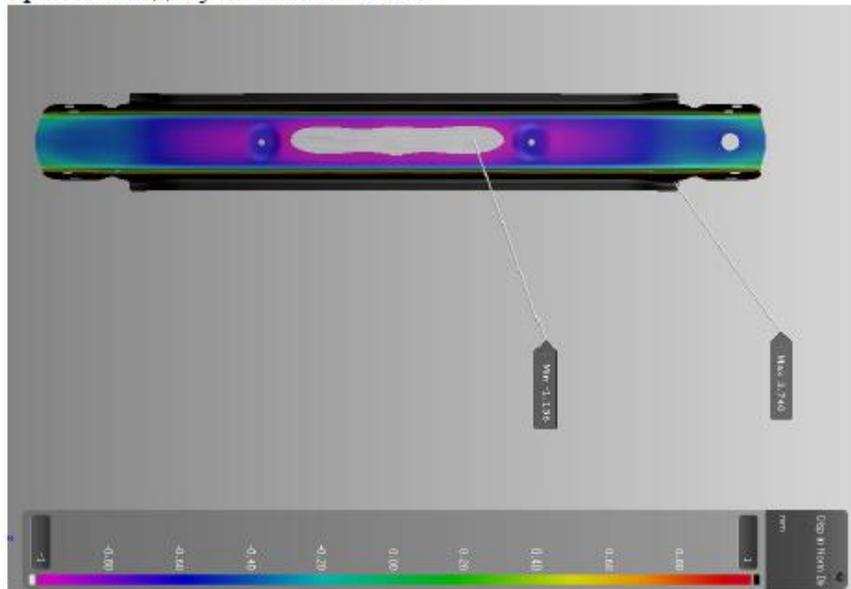
Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата	Лист
					17



Критерий гофрообразования – проблем нет



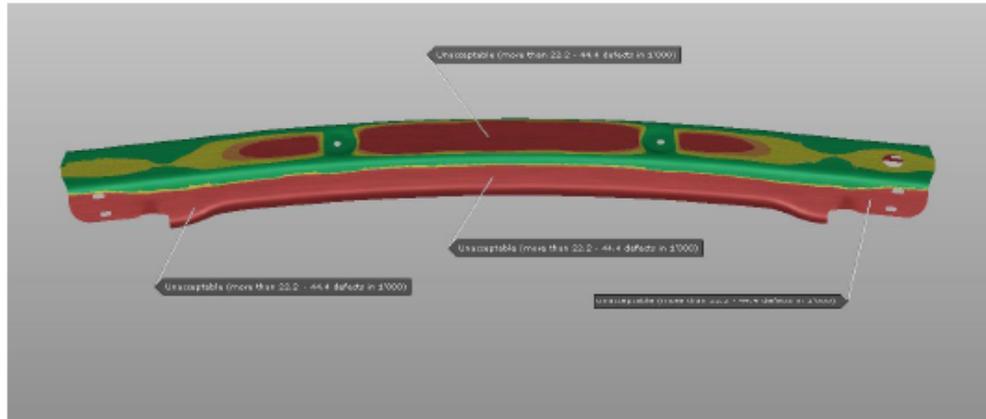
Критерий пружинения – имеется проблема. Величина пружинения существенно превышает допустимые значения.



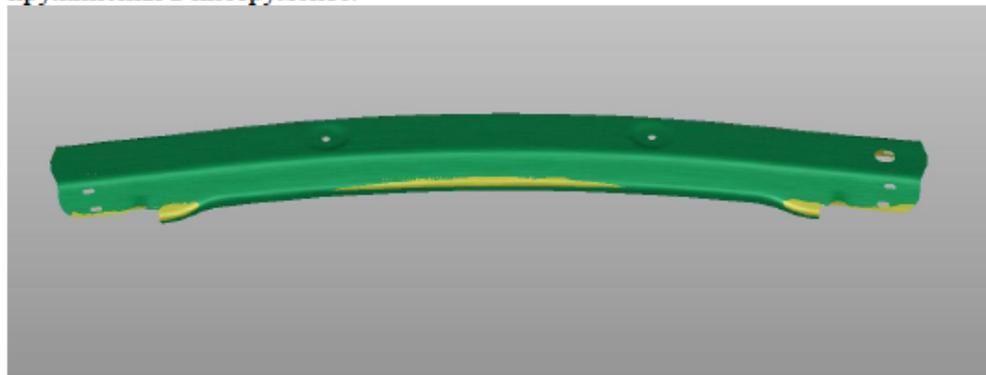
Инв. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подпись и дата	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Лист
18



Критерий Ср – проблему можно разрешить с помощью компенсации пружинения в инструменте.



Вывод:

Благодаря применению модуля AutoForm-Sigma^{plus} найден ответ о возможности компенсации пружинения в инструменте.

Одиночный расчет без применения специализированных средств, таких как AutoForm-Sigma^{plus} таких ответов не дает, что в последствие может привести к:

- увеличению сроков наладки штампов
- увеличению затрат на наладку штампов
- увеличению процента конечного брака в производстве
- в самом худшем случае, перепроектированию технологии штамповки и перепроектированию штампов, переносу сроков запуска автомобиля в массовое производство на несколько месяцев.

Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата
Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата

Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата	Лист 20

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

Форма по СТП 37.101.9565

Номер изм.	Номера страниц (листов)				Всего страниц (листов) в документе	Регистрацион- ный номер документа	Подпись	Дата внесения изменения
	Изменён- ных	Заменён- ных	Новых	Исключен- ных				

Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата	Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата	Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата	Изм	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------	-----	------	----------	-------	------	-----	------	----------	-------	------	-----	------	----------	-------	------

