

Ростовский государственный
университет путей сообщения

филиал РГУПС в г. Воронеж

**ТРУДЫ 79-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ РГУПС
(ЧАСТЬ 2)**

Секция «Детали машин и материаловедение»
(Воронеж, 14 апреля 2020г.)



Воронеж – 2020

Редакционная коллегия:

Жиляков Д.Г. – к.ф.-м.н., доцент

Лукин О.А. – к.ф.-м.н., доцент

Лукин А.А. – к.ф.-м.н., доцент

Соломонов К.Н. – д.т.н., профессор

Тищук Л.И. – к.т.н., доцент

Труды 79-й международной студенческой научно-практической конференции РГУПС (часть 2) Секция «Детали машин и материаловедение» (Воронеж, 14 апреля 2020г.) – Воронеж: филиал РГУПС в г. Воронеж, 2020. – 36с.

Статьи публикуются в редакции авторов (с корректировкой и правкой). Мнения и позиции авторов не обязательно совпадают с мнениями и позициями редакционной коллегии

© Филиал РГУПС в г. Воронеж
© Кафедра социально-гуманитарные,
естественно-научные и
общепрофессиональные дисциплины

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОР ГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ	
Анурова Е.П.	4
ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ	
Ижокин Д.Г.	6
ВИЗУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ	
Костюченко Д.В.	8
НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ	
Пивоваров В.М.	10
ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ	
Лешков Г.А.	12
ТЕХНОЛОГИИ И ПРИНЦИПЫ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ	
Мозговой А.С.	14
ВОЗМОЖНОСТИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ	
Раев С.Л.	16
ВИДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ	
Антипов Р.Г.	18
ТИПЫ МОДЕЛЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ	
Меркулов П.А.	20
ПУТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ	
Морев В.А.	22
АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ В ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТООБОРОТ ПРЕДПРИЯТИЯ	
Яковлева Т.Ю.	24
УСТАНОВКА ЗОННОЙ ОЧИСТКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТИПА	
Фокин А.М.	29

ОБЗОР ГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Анурова Е.П.

Руководитель: Тищук Л.И.

Снижение затрат и повышение продуктивности машиностроения, в том числе железнодорожного машиностроения, связано с эффективным применением средств автоматизации моделирования процессов и проектирования производства деталей соответствующего профиля.

Из всех видов моделирования графическое наиболее наглядно отображает протекание процессов, в том числе и при решении задач обработки металлов давлением (ОМД). В тех случаях, когда не удается получить количественную оценку тех или иных параметров, графическая интерпретация помогает дать качественную характеристику исследуемого процесса, что способствует выработке конкретных рекомендаций по технологии производства изделий либо по улучшению конструкции инструмента. Кроме того, ввиду сложности формализации некоторых задач ОМД графический способ, нередко, является единственным или наиболее оптимальным для их решения.

Благодаря совершенствованию компьютерной и программной базы графическое моделирование в последние годы развивается достаточно интенсивно. В частности, задачу описания пластического течения при осадке металла между жесткими поверхностями, наблюдаемого в ряде процессов ОМД, можно свести к графической за счет визуализации математической модели. В этом случае есть возможность, как показано в работах [1-6], получить методику расчета формоизменения заготовки, а также алгоритм решения задачи формообразования поковки и реализовать его на компьютере. Разработанный алгоритм позволяет до конца решить задачу лишь для ограниченного класса поковок. Его основным недостатком можно считать отсутствие возможности графического отображения полученного решения на экране монитора, что в современных условиях снижает наглядность результата.

Достаточно много внимания вопросам графического моделирования уделено в работах А.И. Петрова. В частности, показана последовательность разработки алгоритма проектирования технологии волочения и прессования профилей; рассмотрены вопросы анализа и кодирования чертежа профиля; разработаны алгоритмы проектирования калибровок волочения из фасонной и сортовой заготовок, алгоритм проектирования пресс-матриц и расчета энергосиловых параметров процессов волочения и прессования; изложены методы и последовательность разработки алгоритма автоматизированного проектирования технологических процессов прокатки фасонных профилей. Решение этих задач доведено до компьютерной реализации с выводом на экран монитора графического изображения контура деформируемой заготовки. Однако применение методики, полученной автором, рассмотрено лишь на простых профилях, что снижает ценность работы. К слабым местам следует отнести то, что рассмотрена лишь плоская задача течения металла по зеркалу

штампа без учета течения металла в других направлениях. Ограничивает круг решаемых задач использование следов эпюры контактных давлений («скелетов контура») на плоскости контакта в то время, как рассмотрение пространственной эпюры контактных давлений могло бы значительно расширить возможности представленной методики.

Ряд работ по этой тематике включает в себя рассмотрение следующих вопросов:

1. Разработка комплексной методики моделирования технологических процессов объемной штамповки заготовок деталей транспортного машиностроения, включающей в себя: методологию геометрического моделирования поковок пространственной формы; задание геометрии заготовок по переходам штамповки с учетом температурно-скоростных характеристик процессов; конструирование штампового инструмента.

2. Геометрическое моделирование формообразования тонких оболочек при пластическом деформировании. В частности, решены следующие задачи: разработки теоретических основ определения схем формообразования различных типов поверхностей на основе анализа удлинения поверхностных слоев; получения матричной модели для определения схемы и места удлинения поверхностных слоев; разработан комплекс программ геометрического моделирования поверхностей, получаемых при пластическом деформировании.

3. Моделирование пластического формоизменения цилиндрической заготовки, базирующееся на методе макроблоков, основанном на эффекте «осадочного креста» и реализованная методом перемещений, а также приведены зависимости для вычисления текущих размеров деформируемой заготовки на любом этапе открытой осадки. «Осадочный крест» образуется в зоне интенсивных сдвиговых деформаций, границы которых проходят по диагоналям продольного сечения и являются линиями разрыва скоростей соответствующих блоков.

Использованные источники

1. Костарев И.В., Соломонов К.Н. Обоснование введения радиальной схемы течения металла в процессах штамповки тонкостенных ребристых деталей из алюминиевых сплавов // Известия вузов. Машиностроение, 2000, № 3, с. 62-65.
2. Соломонов К.Н. Моделирование течения металла в процессах объемной штамповки ребренных деталей // Технология легких сплавов, 2005, № 1-4, с. 142-149.
3. Соломонов К.Н., Абашкин В.П. Возможности компьютерного анализа осадки заготовок // Технология легких сплавов, 2008, № 2, с. 96-100.
4. Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Применение неразрушающего контроля в процессах производства и эксплуатации транспортных систем // Труды XIV Всероссийской научно-технической конференции АКТ-2013. – Воронеж: Элист, 2013. – С. 287-291.
5. Solomonov K., Tishchuk L., Fedorinin N. Simulation of forming a flat forging // Journal of Physics: Conf. Series, 2017, vol. 918, article no. 012038.
6. Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Влияние трения на формоизменение плоской заготовки // Изв. вузов. Черная металлургия, 2018, т. 61, № 3, с. 251–253.

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Ижокин Д.Г.

Руководитель: Тищук Л.И.

Снижение затрат и повышение продуктивности транспортного машиностроения, в том числе вагоностроения, связано с решением, по крайней мере, двух задач, а именно:

– совершенствования технологий производства деталей, а следовательно, и заготовок для них;

– активного и эффективного применения средств автоматизации моделирования и проектирования деталей и процессов.

Решение первой задачи обеспечивается, в частности, грамотной подготовкой формы и структуры металла заготовки для производства деталей транспортного машиностроения. А это, в свою очередь, в немалой степени зависит от выбора процессов и операций обработки металлов давлением (ОМД).

Решение второй задачи, в частности, связано с вопросами моделирования.

В современных условиях проектированию и моделированию технологий изготовления заготовок, которые получают в различных процессах ОМД, уделено немало внимания [1-6]. Однако остается ряд проблем, требующих оперативного решения. В связи с этим нелишним является обзор и анализ связанных с ними вопросов.

В ряде случаев при исследовании различных процессов математическое (численное) описание того или иного процесса из-за его сложности затруднено. В этих ситуациях применяется один из известных и распространенных видов моделирования – физическое. Оно позволяет с достаточно высокой точностью изучать процесс или явление благодаря совпадению основных свойств модели и объекта.

Процессы обработки металлов давлением как раз являются характерным примером таких случаев. При их протекании происходит сложное нелинейное изменение сразу нескольких параметров: степени деформации, размеров и формы поковки, напряженного состояния, микро- и макроструктуры материала и его реологии, температуры и пр. Точно описать эти изменения математически весьма сложно, поэтому организуются серии порою достаточно затратных материально, но аналитически нетрудных и показательных промышленных или лабораторных экспериментов.

Преимущества физического моделирования очевидны. Оно позволяет при наличии материально-технической базы точно моделировать и изучать процесс, не прибегая при этом к громоздким и сложным расчетам, к тому же часто ввиду их ограниченности требующим множества допущений и упрощений, а значит, дающим результат не всегда удовлетворительной погрешности. В случае физического моделирования расчет обычно ограничивается статистическим анализом экспериментально полученных данных с выводом эмпирических зависимостей.

Рассмотрим некоторые примеры использования физического моделирования процессов обработки металлов давлением, отраженные в литературе последних лет, и применяемые для этого материалы.

Ряд специалистов для исследования особенностей пластического формоизменения при осадке заготовок, применяемых в транспортном машиностроении, проводят опыты на образцах из алюминиевых сплавов. В результате анализа экспериментальных данных изучают особенности формоизменения в зависимости от различных параметров процесса.

Однако чаще всего для моделирования пластического течения в процессах ОМД используют свинцовые заготовки, по свойствам соответствующие алюминиевым сплавам, но обладающие меньшим пределом текучести, благодаря чему для их деформирования требуются меньшие усилия, а, следовательно, и менее энергоемкое оборудование. Картина течения при этом позволяет выявить основные закономерности изменения характеристик для большого класса пластических материалов. Такое моделирование дает возможность не только сэкономить энергоресурсы, но и использовать более дешевый металл как на штамповом инструменте, так и на заготовках.

Еще более дешевый и доступный материал для моделирования — пластилин. Его применяют для моделирования формоизменения пластических и вязкопластических сред. Так, инженеры французской фирмы «Star Stell», специализирующейся на производстве деталей газовых турбин, корпусов реакторов, крупных цилиндров, роторов и других изделий для атомной и нефтехимической промышленности, на основе метода конечных элементов и моделирования на пластилиновых образцах смогли за короткий срок изготовить крышку для атомного реактора. Какие-либо натурные эксперименты не потребовались.

Использованные источники

7. Костарев И.В., Соломонов К.Н. Обоснование введения радиальной схемы течения металла в процессах штамповки тонкостенных ребристых деталей из алюминиевых сплавов // Известия вузов. Машиностроение, 2000, № 3, с. 62-65.
8. Соломонов К.Н. Автоматизированное проектирование инструмента и технологий объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением, 2003, № 8, с. 42-48.
9. Соломонов К.Н., Абашкин В.П. Возможности компьютерного анализа осадки заготовок // Технология легких сплавов, 2008, № 2, с. 96-100.
10. Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Применение неразрушающего контроля в процессах производства и эксплуатации транспортных систем // Труды XIV Всероссийской научно-технической конференции АКТ-2013. – Воронеж: Элист, 2013. – С. 287-291.
11. Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Влияние трения на формоизменение плоской заготовки // Изв. вузов. Черная металлургия, 2018, т. 61, № 3, с. 251–253.
12. Solomonov K.N., Tishchuk L.I. Simulation of deformation processes in upsetting // Journal of Physics: Conf. Series, 2019, vol. 1348, article no. 012020.

ВИЗУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Костюченко Д.В.

Руководитель: Тищук Л.И.

Снижение затрат и повышение продуктивности транспортного машиностроения, в том числе вагоностроения, связано с решением, по крайней мере, двух задач, а именно:

– совершенствования технологий производства деталей, а следовательно, и заготовок для них;

– активного и эффективного применения средств автоматизации моделирования и проектирования деталей и процессов.

Решение первой задачи обеспечивается, в частности, грамотной подготовкой формы и структуры металла заготовки для производства деталей транспортного машиностроения. А это, в свою очередь, в немалой степени зависит от выбора процессов и операций обработки металлов давлением.

Решение второй задачи требует современных инструментов исследования, таких как компьютерное, имитационное или визуальное моделирование процессов и явлений.

Сложность изучаемых и проектируемых процессов в различных областях науки, в том числе и в области обработки металлов давлением привела к созданию качественно новой техники исследований, использующей аппарат имитации – воспроизведение на компьютере специально организованными системами математических моделей протекания процессов.

Имитационное моделирование с использованием компьютерной техники и прикладных программ соответствующего направления является одним из наиболее мощных средств исследования. Как и любое компьютерное моделирование, оно дает возможность проводить вычислительные эксперименты с еще только проектируемыми системами и изучать системы, натурные эксперименты с которыми из-за соображений безопасности или высокой стоимости нецелесообразны. В то же время, благодаря своей близости к физическому моделированию, этот метод исследования доступен более широкому кругу пользователей.

В настоящее время, когда компьютерная промышленность предлагает разнообразные средства моделирования, любой квалифицированный инженер или технолог должен уметь уже не просто моделировать сложные объекты, а моделировать их с помощью современных технологий, которые реализованы в виде графических сред и пакетов визуального моделирования.

Данное требование было трудновыполнимым до повсеместного проникновения в исследовательскую деятельность персонального компьютера с графическим дисплеем (для нашей страны это в большинстве случаев Intel-совместимый компьютер с операционной системой MS Windows) и появления специального программного обеспечения – пакетов визуального моделирования. Системы автоматизации моделирования, разработанные в 1960-70-е годы (Simula, SLAM, НЕДИС и др.), были довольно сложны для

широкого круга пользователей, прежде всего из-за сложности текстовой формы описания модели и отсутствия программных реализаций эффективных численных методов. Пакеты же визуального моделирования позволяют пользователю вводить описание моделируемой системы в удобной (преимущественно графической) форме, то есть в буквальном смысле рисовать функциональную схему, размещать на ней блоки и соединять их связями и представлять результаты моделирования в наглядной форме в виде диаграмм, рисунков, анимационных картинок и т.п.

Одним из главных достоинств систем визуального моделирования является и то, что они позволяют пользователю не заботиться о программной реализации модели, а сами создают на компьютере чрезвычайно удобную среду, в которой можно моделировать виртуальные функционирующие системы и проводить эксперименты с ними. Таким образом, графическая среда является виртуальной моделью физического испытательного стенда, только вместо сложной и дорогостоящей аппаратуры исследователь имеет дело с ее образом на экране дисплея. Кроме того, имеется возможность наблюдения и оценки результатов моделирования в ходе эксперимента, а при необходимости и активного вмешательства.

Поскольку программная реализация виртуального стенда скрыта от пользователя, то для проведения экспериментов не требуется особых знаний о компьютерном программировании, операционной системе и математическом обеспечении. Можно сказать, что виртуальный стенд превращает цифровую вычислительную машину в чрезвычайно точную и удобную аналоговую.

Ряд преимуществ такого подхода представлен в работах [1-6], посвященных моделированию пластического формоизменения металлов и сплавов в процессах обработки материалов давлением.

Использованные источники

13. Костарев И.В., Соломонов К.Н. Обоснование введения радиальной схемы течения металла в процессах штамповки тонкостенных ребристых деталей из алюминиевых сплавов // Известия вузов. Машиностроение, 2000, № 3, с. 62-65.
14. Соломонов К.Н. Моделирование течения металла в процессах объемной штамповки ребренных деталей // Технология легких сплавов, 2005, № 1-4, с. 142-149.
15. Лисунец Н.Л., Соломонов К.Н., Цепин М.А. Объемная штамповка алюминиевых заготовок. – М.: Машиностроение, 2009. – 172 с.
16. Solomonov K., Tishchuk L., Fedorinin N. Simulation of forming a flat forging // Journal of Physics: Conf. Series, 2017, vol. 918, article no. 012038.
17. Solomonov K., Tishchuk L. Virtual and physical simulation forming of flat workpieces under upsetting // Procedia Manufacturing, 2019, № 37, pp. 467-471.
18. Solomonov K.N., Tishchuk L.I. Simulation of deformation processes in upsetting // Journal of Physics: Conf. Series, 2019, vol. 1348, article no. 012020.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Пивоваров В.М.

Руководитель: Тицук Л.И.

Снижение затрат и повышение продуктивности транспортного машиностроения, в том числе вагоностроения, связано с решением, по крайней мере, двух задач, а именно:

– совершенствования технологий производства деталей, а, следовательно, и заготовок для них;

– активного и эффективного применения средств автоматизации моделирования и проектирования деталей и процессов.

Решение первой задачи обеспечивается, в частности, грамотной подготовкой формы и структуры металла заготовки для производства деталей транспортного машиностроения. А это, в свою очередь, в немалой степени зависит от выбора процессов и операций обработки металлов давлением.

Решение второй задачи лежит в сфере создания систем автоматизированного проектирования (САПР).

Сегодня проектированию и моделированию технологийковки и объемной штамповки уделено немало внимания [1-6]. Однако остается ряд проблем, требующих оперативного решения. В связи с этим нелишним является обзор и анализ связанных с ними вопросов. В настоящее время в связи с необходимостью интенсификации операций на всех этапах промышленного производства автоматизированному проектированию отводится главная роль. Разработки в этой области на сегодняшний день являются наиболее перспективными и охватывают все больше проблем и процессов обработки металлов давлением. Одну из ведущих ролей играет разработка САПР штампового инструмента. На сегодняшний день созданы интегрированные системы автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства CAD/CAM, наиболее известными из которых являются PROENGINEER, UNIGRAPHICS, DELCAM, CATIA, EUKLID. Эти системы предоставляют пользователю широкий набор средств и возможностей для проектирования и моделирования процессов изготовления различных изделий, в том числе и инструмента для производства этих изделий. Однако, будучи универсальными, указанные системы не имеют программных средств, поддерживающих решение проектных и конструкторских задач в конкретной предметной области. Например, в горячештамповочном производстве перед построением трехмерной модели штампов с целью реализации программ обработки этих штампов на станках с ЧПУ должен быть предварительно решен ряд задач по выбору типа ручьев, расчету размеров и параметров, определяющих форму ручья, расчету конструктивных элементов штампа, выбору штампового кубика, размещению ручьев на зеркале штампа. Методики решения этих и других подобных задач известны и реализованы на компьютерной технике в виде прикладных программ.

Вот некоторые из этих методик. Применение современных CAD/CAM систем дает возможность достичь значительной оптимизации процессов конструирования. В институте обработки давлением и машин в Ганновере разработана система CAD/CAM PROENGINEER, которая облегчает проектирование поковок. На ее основе предложены рекомендации по созданию штампов, обеспечивающих получение поковок, в которых отсутствует концентрация напряжений, что, безусловно, повышает их качество. По инициативе Союза кузнецов ФРГ было организовано рабочее объединение CAD/CAM с целью повышения производительности труда. В качестве базы для системы CAD/CAM была выбрана программа EUKLID 4 фирмы Fides (Швейцария). В то время EUKLID 4 являлась одной из ведущих программ моделирования поверхностей, с помощью которой конструировали инструменты и штампы и автоматически подготавливали геометрические параметры для обработки на оборудовании с ЧПУ. Для того, чтобы можно было сохранять устойчивым давление конкуренции как в собственной отрасли, так и со стороны альтернативных методов, системы CAD/CAM для специфических отраслевых потребностей разделялись по размерам и были оптимизированы относительно факторов времени, затрат и качества.

Одним из лидирующих разработчиков программного обеспечения CAD/CAM систем является фирма Delcam International plc (Великобритания). Программные продукты фирмы Delcam обеспечивают комплексную автоматизацию конструкторско-технологической подготовки производства: трехмерное моделирование, визуализацию, получение чертежей и управляющих программ для ЧПУ, измерение и контроль. Системы фирмы ориентированы на инструментальное производство и используются в самых различных отраслях производства – от аэрокосмической и транспортной промышленности до изготовления товаров народного потребления.

Использованные источники

1. Соломонов К.Н. Автоматизированное проектирование инструмента и технологий объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением, 2003, № 8, с. 42-48.
2. Соломонов К.Н., Абашкин В.П. Возможности компьютерного анализа осадки заготовок // Технология легких сплавов, 2008, № 2, с. 96-100.
3. Соломонов К.Н., Федоринин Н.И., Тищук Л.И. Методика построения линии раздела течения металла в процессах осадки плоских заготовок // Вестник научно-технического развития, 2016, № 2, с. 36-55.
4. Тищук Л.И., Соломонов К.Н., Мазур И.П. и др. Исследование картины течения металла при осадке // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2017, т. 15, № 3, с. 37-44.
5. Solomonov K., Tishchuk L., Fedorinin N. Simulation of forming a flat forging // Journal of Physics: Conf. Series, 2017, vol. 918, article no. 012038.
6. Solomonov K., Tishchuk L. Virtual and physical simulation forming of flat workpieces under upsetting // Procedia Manufacturing, 2019, № 37, pp. 467-471.

ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Лешков Г.А.

Руководитель: Тищук Л.И.

Снижение затрат и повышение продуктивности транспортного машиностроения, в том числе вагоностроения, связано с решением, по крайней мере, двух задач, а именно:

– совершенствования технологий производства деталей, а следовательно, и заготовок для них;

– активного и эффективного применения средств автоматизации моделирования и проектирования деталей и процессов.

Решение первой задачи обеспечивается, в частности, грамотной подготовкой формы и структуры металла заготовки для производства деталей транспортного машиностроения. А это, в свою очередь, в немалой степени зависит от выбора процессов и операций обработки металлов давлением (ОМД). С развитием средств производства эти процессы были сначала механизированы, а затем автоматизированы. В современных условиях проектированию и моделированию технологий ОМД уделено немало внимания [1-6]. Однако остается ряд проблем, требующих оперативного вмешательства.

По мере развития средств вычислительной техники и, вместе с тем, сокращения обслуживающего персонала заводов возникла потребность в создании программ, ориентированных исключительно на использование персональных компьютеров. Такие программы по сравнению с вышеуказанными, обладая меньшим набором выполняемых функций, имеют существенные преимущества: более простой интерфейс, а, следовательно, и меньшее время на обучение обслуживающего персонала. Среди них следует упомянуть широко известные и эффективные программы: Solid Works, Solid Edge, TFlex.

Важное значение имеют расчетные программы, разработанные на основе численных методов. Эти программы в последние годы широко применяются на кузнечно-штамповочных и других предприятиях и играют главенствующую роль на рынке программных продуктов. Для разработки и оптимизации технологии и инструмента с начала 1990-х годов в штамповочной промышленности начали применяться расчетные программы, основанные на методе конечных элементов (МКЭ). Первые варианты программ позволяли моделировать плоскую и осесимметричную деформацию, а с середины 1990-х годов появилась возможность расчета полной трехмерной деформации. Ценность разрабатываемых программных продуктов всегда в значительной степени определялась точностью получаемых расчетных результатов. В связи с этим на передний план выдвинулся вопрос о тестировании создаваемых программ.

В 1994 году в рамках международной конференции «Metal Forming Process Simulation in Industry» было проведено первое международное

тестирование расчетных программ. В тестировании приняли участие отечественные и зарубежные промышленные программы: Autoforge (MARC, США), Forge (Transvalor, Франция), DEFORM (SFTC, США), Abakus (HKS, США), FORM2D (Quantor, Россия). Основные итоги тестирования показали следующее:

– все расчетные программы, кроме FORM2D, работающей на персональном компьютере, функционировали на рабочих станциях под управлением операционной системы UNIX;

– все программы показали достаточную для практики точность при моделировании осесимметричной деформации;

– результаты работы некоторых программ, полученные на тестовом примере моделирования трехмерной деформации, очень сильно отличались от экспериментальных данных.

Например, во Франции большой популярностью пользуется программный комплекс Forge на базе МКЭ. Программа использует классический язык, разработанный для отрасли. Использование компьютерного моделирования дает возможность осуществить проектирование поковки и штампа, выполнение монтажных и отдельных чертежей и спецификаций. На дисплее получают оптимальные параметры штамповки, такие как температуры, усилия, переходы. Программа Forge позволяет вводить графическую информацию, которая определяет гравюру штампа, а также коэффициент теплового расширения деформируемого материала.

Одним из признанных мировых лидеров по производству программного обеспечения и сервисных услуг для усовершенствования и автоматизации процессов проектирования и изготовления изделий является американская компания MSC.Software.

Среди отечественных разработок стоит отметить программный комплекс QForm, который является одним из немногих российских продуктов в области high-tech программного обеспечения, применяемых на зарубежных предприятиях.

Использованные источники

1. Соломонов К.Н. Автоматизированное проектирование инструмента и технологий объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением, 2003, № 8, с. 42-48.
2. Соломонов К.Н. Моделирование течения металла в процессах объемной штамповки оребренных деталей // Технология легких сплавов, 2005, № 1-4, с. 142-149.
3. Соломонов К.Н., Федоринин Н.И., Тищук Л.И. Моделирование технологических методик пластического деформирования // Известия Самарского НЦ РАН, 2017, том 19, № 1 (3), с. 517-519.
4. Тищук Л.И., Соломонов К.Н., Мазур И.П. и др. Исследование картины течения металла при осадке // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2017, т. 15, № 3, с. 37-44.
5. Solomonov K., Tishchuk L. Virtual and physical simulation forming of flat workpieces under upsetting // Procedia Manufacturing, 2019, № 37, pp. 467-471.
6. Solomonov K.N., Tishchuk L.I. Simulation of deformation processes in upsetting // Journal of Physics: Conf. Series, 2019, vol. 1348, article no. 012020.

ТЕХНОЛОГИИ И ПРИНЦИПЫ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Мозговой А.С.

Руководитель: Соломонов К.Н.

Снижение затрат и повышение продуктивности транспортного машиностроения, в том числе вагоностроения, связано с решением, по крайней мере, двух задач, а именно:

– совершенствования технологий производства деталей, а следовательно, и заготовок для них;

– активного и эффективного применения средств автоматизации моделирования и проектирования деталей и процессов.

Решение первой задачи обеспечивается, в частности, грамотной подготовкой формы и структуры металла заготовки для производства деталей транспортного машиностроения. А это, в свою очередь, в немалой степени зависит от выбора процессов и операций обработки металлов давлением.

Достаточно широко для этих целей применяется один из самых древних и традиционных процессов обработки металлов давлением – ковка. Издревле повсеместно для изготовления различных деталей использовалась ручная ковка, представляющая, как правило, процесс горячего формоизменения металла. С развитием средств производства этот процесс механизировался и автоматизировался. Неизменной остается деформационная схема формообразования, на которой базируется процессковки – осадка.

За многие десятилетия существования кузнечной промышленности остаются нерешенными многие ее проблемы. Над их решением работали и работают как ученые-исследователи в области теории обработки металлов давлением, так и конструкторы и технологи в сфере промышленного производства. Главными из этих проблем являются дефекты формообразования при деформировании слитков и заготовок из проката с целью получить требуемую конфигурацию поковки. Это обусловлено тем, что течение металла заготовки по направлениям с наименьшими сопротивлениями чаще всего приводит не к получению необходимой формы, а к ее различным искажениям, в частности, бочкообразованию, выпучиванию сторон, волнообразованию, зажимам и пр. Все эти дефекты вызывают необходимость введения дальнейших операций по их устранению. Вне зависимости от характера данных операций это приводит к потере металла в отход, дополнительным энергозатратам, повышению трудоемкости производства поковок, необходимости привлечения дополнительного оборудования и прочим затратам.

Помимо проблем формообразования, перед исследователями и технологами стоят и будут стоять такие задачи, как снижение потребных усилий деформирования, повышение качества проработки дендритной структуры слитков, минимизация затрат при достижении требуемого укова, структуры металла и механических свойств изделия, поиск оптимальных сочетаний кузнечных операций для сбережения металла и ресурсов.

Реализация новых технологий в областиковки может дать следующие положительные результаты:

- повышение выхода годного;
- снижение брака при ковке;
- снижение расхода металла по другим переделам;
- экономия энергии на пластическую деформацию;
- снижение расхода топлива;
- повышение производительностиковки;
- уменьшение величины уковки;
- сокращение количества осадок;
- сокращение вспомогательного времени;
- сокращение длительности нагревов;
- сокращение количества подогревов.

Для достижения этих результатов разрабатываются и реализуются десятки новых технологических процессовковки, которые основаны на пяти главных принципах:

1. Согласование объекта деформирования с изделием по макростроению и качеству металла.
2. Создание, инициирование и интенсификация макросдвигов.
3. Регулирование пластических потоков металла.
4. Регулирование местных нормальных деформаций.
5. Наведение заданных тепловых полей и регулирование термозональных факторов.

В современных условиях некоторые проблемы проектирования и моделирования изготовления поковок, которые получают в процессахковки и объемной штамповки, успешно решены [1-7].

Использованные источники

1. Соломонов К.Н. Моделирование течения металла в процессах объемной штамповки оребренных деталей // Технология легких сплавов, 2005, № 1-4, с. 142-149.
2. Соломонов К.Н., Федоринин Н.И., Тищук Л.И. Методика построения линии раздела течения металла в процессах осадки плоских заготовок // Вестник научно-технического развития, 2016, № 2, с. 36-55.
3. Тищук Л.И., Соломонов К.Н., Мазур И.П. и др. Исследование картины течения металла при осадке // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2017, т. 15, № 3, с. 37-44.
4. Solomonov K., Tishchuk L., Fedorinin N. Simulation of forming a flat forging // Journal of Physics: Conf. Series, 2017, vol. 918, article no. 012038.
5. Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Влияние трения на формоизменение плоской заготовки // Изв. вузов. Черная металлургия, 2018, т. 61, № 3, с. 251–253.
6. Solomonov K., Tishchuk L. Virtual and physical simulation forming of flat workpieces under upsetting // Procedia Manufacturing, 2019, № 37, pp. 467-471.
7. Solomonov K.N., Tishchuk L.I. Simulation of deformation processes in upsetting // Journal of Physics: Conf. Series, 2019, vol. 1348, article no. 012020.

ВОЗМОЖНОСТИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Раев С.Л.

Руководитель: Соломонов К.Н.

Снижение затрат и повышение продуктивности транспортного машиностроения, в том числе вагоностроения, связано с решением, по крайней мере, двух задач, а именно:

– совершенствования технологий производства деталей, а следовательно, и заготовок для них;

– активного и эффективного применения средств автоматизации моделирования и проектирования деталей и процессов.

Решение первой задачи обеспечивается, в частности, грамотной подготовкой формы и структуры металла заготовки для производства деталей транспортного машиностроения. А это, в свою очередь, в немалой степени зависит от выбора процессов и операций обработки металлов давлением.

Успешное решение второй задачи зависит от адекватного подбора способа моделирования соответствующего процесса пластического формообразования.

В настоящее время активно развиваются различные виды моделирования процессов, которые способствуют получению оптимальных результатов в производстве конечного продукта. Для этого разрабатываются модели, имитирующие технологический процесс. С их помощью исследователи получают информацию, без которой невозможно выбрать подходящий вариант алгоритма решения задачи.

Эти возможности моделирования высоко оценены специалистами во всем мире и в русском языке появился термин «имитационное моделирование», а в английском – «simulation modeling». Надо отметить, что если в английском языке термин имеет вполне четкий смысл, так как симуляция и моделирование не являются синонимами, то по-русски «имитационное моделирование» – это тавтология. Поскольку любая модель, в принципе, является имитационной, потому что она имитирует реальность.

В то же время в русском языке прилагательное «имитационный» часто используется как синоним прилагательных «сходный», «похожий». Среди словосочетаний «математическая модель», «аналоговая модель», «статистическая модель», пара «имитационная модель», появившаяся в русском языке, наверное, в результате неточности перевода, постепенно приобрела новое, отличное от первоначального значение. Тем более, что «моделирование» на английский язык переводится и как «simulation», и как «modeling». То есть получается, что «simulation modeling» можно перевести как «моделирование модели». Предположительно, это связано с тем, что, строго говоря, под термином «simulation» подразумевается моделирование процессов, в том числе и технологических, которые изучает прикладная наука; а «modeling» имеет в

виду моделирование объектов, например, конструирование масштабных моделей транспортных средств или модели одежды, обуви и т.п.

Имитационное моделирование – это частный случай математического моделирования. Оно обусловлено тем, что существует класс объектов, для которых по различным причинам не разработаны аналитические модели, либо решения модели неустойчивы. В этом случае аналитическая модель заменяется имитатором, т.е. имитационной моделью. Принято считать, что математическая модель – это набор формул (система аналитических или дифференциальных уравнений), а имитационная модель – некоторый материальный объект.

Говоря об имитационной модели, следует отметить, что в отличие от других типов абстрактных моделей, в этой модели сохранены и легко узнаваемы такие черты моделируемого объекта, как структура, связи между компонентами, способ передачи информации. С имитационными моделями также обычно связывают и требование иллюстрации их поведения с помощью принятых в данной прикладной области графических образов.

С учетом последнего замечания, имитационное моделирование может рассматриваться как специальная форма математического моделирования, в котором: декомпозиция системы на компоненты производится с учетом структуры проектируемого или изучаемого объекта; в качестве законов поведения могут использоваться экспериментальные данные, полученные в результате натуральных экспериментов; поведение системы во времени иллюстрируется заданными динамическими образами.

Применительно к обработке металлов давлением некоторые вопросы проектирования и моделирования изготовления заготовок, которые получают в процессахковки и объемной штамповки, достаточно подробно рассмотрены в работах [1-7].

Использованные источники

1. Костарев И.В., Соломонов К.Н. Обоснование введения радиальной схемы течения металла в процессах штамповки тонкостенных ребристых деталей из алюминиевых сплавов // Известия вузов. Машиностроение, 2000, № 3, с. 62-65.
2. Соломонов К.Н. Автоматизированное проектирование инструмента и технологий объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением, 2003, № 8, с. 42-48.
3. Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Применение неразрушающего контроля в процессах производства и эксплуатации транспортных систем // Труды XIV Всероссийской научно-технической конференции АКТ-2013. – Воронеж: Элист, 2013. – С. 287-291.
4. Тищук Л.И., Соломонов К.Н., Мазур И.П. и др. Исследование картины течения металла при осадке // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2017, т. 15, № 3, с. 37-44.
5. Solomonov K., Tishchuk L., Fedorinin N. Simulation of forming a flat forging // Journal of Physics: Conf. Series, 2017, vol. 918, article no. 012038.
6. Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Влияние трения на формоизменение плоской заготовки // Изв. вузов. Черная металлургия, 2018, т. 61, № 3, с. 251–253.
7. Solomonov K., Tishchuk L. Virtual and physical simulation forming of flat workpieces under upsetting // Procedia Manufacturing, 2019, № 37, pp. 467-471.

ВИДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Антипов Р.Г.

Руководитель: Соломонов К.Н.

Снижение затрат и повышение продуктивности транспортного машиностроения, в том числе вагоностроения, связано с решением, по крайней мере, двух задач, а именно:

– совершенствования технологий производства деталей, а, следовательно, и заготовок для них;

– активного и эффективного применения средств автоматизации моделирования и проектирования деталей и процессов.

Для успешного решения обеих задач необходима классификация видов моделирования в области обработки металлов давлением.

В общем виде классификацию различных видов моделирования можно представить следующей схемой (рис.).



Рис. Классификация видов моделирования

При физическом моделировании используется сама система, либо подобная ей физическая аналогия (например, пластилиновая модель заготовки вместо нагретой до ковочной температуры самой заготовки).

Аналоговое моделирование заключается в создании предметного образа процесса, системы или изменения каких-либо параметров, схожих по форме с реальным объектом.

Математическое моделирование – это процесс установления соответствия реальной системе математической модели и исследование этой модели, позволяющее получить характеристики реальной системы.

Применение математического моделирования позволяет исследовать объекты, реальные эксперименты над которыми затруднены или невозможны (дорого, опасно для здоровья, однократные процессы, невозможные из-за физических или временных ограничений – находятся далеко, еще или уже не существуют и т.п.).

При аналитическом моделировании – процессы функционирования элементов записываются в виде математических соотношений (алгебраических,

интегральных, дифференциальных, логических и т.д.). Аналитическая модель может быть исследована следующими методами:

1. *Аналитическим* (устанавливаются явные зависимости, получаются, в основном, аналитические решения).

2. *Численным* (получаются приближенные решения).

3. *Качественным* (в явном виде можно найти некоторые свойства решения).

Компьютерное моделирование – это математическое моделирование, которое формулируется в виде алгоритма (программы для компьютера), что позволяет проводить вычислительные эксперименты.

Геометрическое моделирование применяется тогда, когда формализация поставленной задачи невозможна или слишком сложна. В ряде случаев данный способ является единственным для решения подобных задач.

Кроме этого, можно выделить: численное, статистическое и имитационное моделирование.

Численное моделирование – это использование методов вычислительной математики (отличается от численного аналитического тем, что возможно задание различных параметров модели).

Статистическое моделирование представляет собой обработку данных о системе (модели) с целью получения статистических характеристик системы.

Имитационное моделирование – это воспроизведение на компьютере (имитация) процесса функционирования исследуемой системы, соблюдая логическую и временную последовательность протекания процессов, что позволяет узнать данные о состоянии системы или отдельных ее элементов в определенные моменты времени.

Некоторые виды моделирования процессов формообразования поковок, которые получают в процессахковки и объемной штамповки, весьма широко представлены в [1-6].

Использованные источники

1. Костарев И.В., Соломонов К.Н. Обоснование введения радиальной схемы течения металла в процессах штамповки тонкостенных ребристых деталей из алюминиевых сплавов // Известия вузов. Машиностроение, 2000, № 3, с. 62-65.
2. Соломонов К.Н. Автоматизированное проектирование инструмента и технологий объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением, 2003, № 8, с. 42-48.
3. Лисунец Н.Л., Соломонов К.Н., Цепин М.А. Объемная штамповка алюминиевых заготовок. – М.: Машиностроение, 2009. – 172 с.
4. Соломонов К.Н., Федоринин Н.И., Тищук Л.И. Моделирование технологических методик пластического деформирования // Известия Самарского НЦ РАН, 2017, том 19, № 1 (3), с. 517-519.
5. Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Влияние трения на формоизменение плоской заготовки // Изв. вузов. Черная металлургия, 2018, т. 61, № 3, с. 251–253.
6. Solomonov K.N., Tishchuk L.I. Simulation of deformation processes in upsetting // Journal of Physics: Conf. Series, 2019, vol. 1348, article no. 012020.

ТИПЫ МОДЕЛЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Меркулов П.А.

Руководитель: Соломонов К.Н.

Снижение затрат и повышение продуктивности транспортного машиностроения, в том числе вагоностроения, связано с решением, по крайней мере, двух задач, а именно:

– совершенствования технологий производства деталей, а следовательно, и заготовок для них;

– активного и эффективного применения средств автоматизации моделирования и проектирования деталей и процессов.

Решение первой задачи обеспечивается, в частности, грамотной подготовкой формы и структуры металла заготовки для производства деталей транспортного машиностроения. Катализатором решения второй задачи служит классификация типов моделей по различным признакам.

Немалое значение и интерес представляет классификация моделей, реализуемых непосредственно в области обработки металлов давлением, исходя из задач и целей исследования. Пример такой классификации, сложившейся в США, представлен на рисунке.

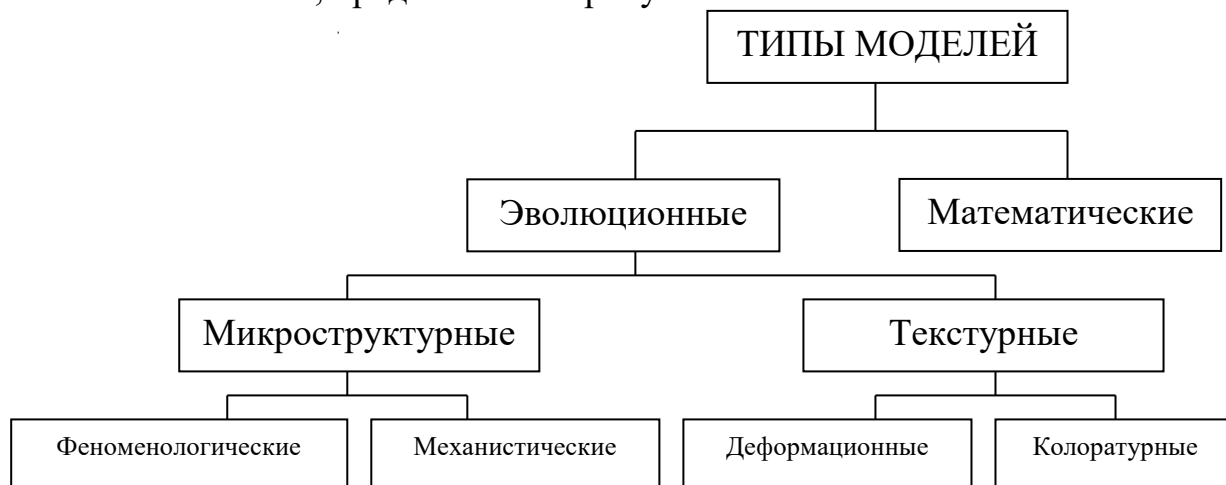


Рис. Типы моделей в зависимости от задач исследования

Как видно на схеме, микроструктурные модели делятся на две широкие категории – *феноменологические* и *механистические*.

Феноменологические модели применяются для определения корреляционных связей между особенностями микроструктуры и параметрами процессов. Такие модели значимы только в пределах используемых экспериментальных данных. Феноменологические модели, например, динамической и статической рекристаллизации развиваются применительно к сталям, алюминиевым и никелевым сплавам.

Механистические модели базируются на механизме протекания процессов. Эти модели объединяют причинные и статистические аспекты

микроструктурных изменений. Примером может служить модель эволюции микроструктуры в процессах горячей обработки.

Текстурные модели также делятся на две категории – *по прогнозированию текстуры деформации* и *по прогнозированию текстуры рекристаллизации*. Такое моделирование весьма быстро развивается в последнее время благодаря мощному развитию компьютерной техники. Наибольшие успехи достигнуты в области моделирования текстуры деформации.

Также в последние годы ускоренно развивается математическое моделирование на базе приемов и правил метода конечных элементов (МКЭ) и метода граничных элементов (МГЭ). В 1980-е годы приемы МКЭ использовались для прогнозирования течения металла в простых двухмерных задачах с неустановившимся состоянием (штамповка) – 2D-модели. С 1990-х годов ко все более усложняющимся двухмерным задачам добавились трехмерные – 3D-модели. В последнее время с помощью МКЭ и МГЭ проектируются многоручьевые штампы, имитируются процессыковки, прессования, волочения, прокатки. Особенно трудной задачей является имитация процессовковки. Это связано с большим количеством ударов, поворотов заготовки между ударами и пр.

Наряду с прогнозированием течения металла и заполнения штампа и связанных с этим дефектов МКЭ также используется для анализа эволюции микроструктуры и дефектов внутри заготовки, напряжений в штампах и т.д.

Классификация типов моделей на сегодняшний день помогает решать некоторые проблемы проектирования и моделирования формообразования поковок, получаемых в процессахковки и объемной штамповки, в частности, те, которые освещены в работах отечественных ученых [1-6].

Использованные источники

1. Соломонов К.Н. Автоматизированное проектирование инструмента и технологий объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением, 2003, № 8, с. 42-48.
2. Соломонов К.Н., Абашкин В.П. Возможности компьютерного анализа осадки заготовок // Технология легких сплавов, 2008, № 2, с. 96-100.
3. Соломонов К.Н., Федоринин Н.И., Тищук Л.И. Моделирование технологических методик пластического деформирования // Известия Самарского НЦ РАН, 2017, том 19, № 1 (3), с. 517-519.
4. Solomonov K., Tishchuk L., Fedorinin N. Simulation of forming a flat forging // Journal of Physics: Conf. Series, 2017, vol. 918, article no. 012038.
5. Solomonov K., Tishchuk L. Virtual and physical simulation forming of flat workpieces under upsetting // Procedia Manufacturing, 2019, № 37, pp. 467-471.
6. Solomonov K.N., Tishchuk L.I. Simulation of deformation processes in upsetting // Journal of Physics: Conf. Series, 2019, vol. 1348, article no. 012020.

ПУТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Морев В.А.

Руководитель: Соломонов К.Н.

Снижение затрат и повышение продуктивности транспортного машиностроения, в том числе вагоностроения, связано с решением, по крайней мере, двух задач, а именно:

– совершенствования технологий производства деталей, а следовательно, и заготовок для них;

– активного и эффективного применения средств автоматизации моделирования и проектирования деталей и процессов.

Решение первой задачи обеспечивается, в частности, грамотной подготовкой формы и структуры металла заготовки для производства деталей транспортного машиностроения, что, в свою очередь, в немалой степени зависит от выбора процессов и операций обработки металлов давлением.

Автоматизация моделирования технологических процессов зиждется на построении алгоритмов, которые базируются на математических моделях, что, в конечном счете, позволяет создавать методологические приемы решения поставленных задач.

В условиях действующего производства обновление технологии на базе научных исследований часто сдерживается из-за ограниченных возможностей детального изучения и опытной проверки особенностей новых процессов. Исправить это положение позволяет математическое моделирование. В его основе лежит построение моделей физических процессов с помощью математического аппарата. Этот вид моделирования является одним из наиболее эффективных.

Анализ источников литературы за последние 5-6 лет позволяет сделать вывод о том, что к настоящему времени математический анализ различных процессов, в том числе и обработки металлов давлением, не ограничивается лишь получением конкретных выводов и зависимостей. В большинстве случаев возникает необходимость удобно, наглядно и красиво отобразить результаты расчетов выводом на монитор компьютера в виде двух и трехмерных изображений (2D и 3D-моделей), компьютерной анимации, графиков, диаграмм, таблиц и т.п. Для этой цели используются различные продукты компьютерного программирования. Таким образом, в наши дни математическое моделирование все теснее связано с моделированием компьютерным, поскольку и большинство программ в свою очередь базируются на математическом аппарате. В связи с этим следует отметить, что математическое исследование может идти по двум направлениям:

1. Поиск оптимального для изучения конкретного процесса математического алгоритма; численное описание процесса; получение результатов расчета, их анализ и выработка соответствующих выводов и решений. Этот вариант может осуществляться как с применением средств

компьютерного моделирования, так и без него. Собственно говоря, этот путь и следует считать математическим моделированием.

2. Поиск подходящего для исследования процесса программного продукта; при необходимости адаптация этого продукта к поставленной задаче; описание (моделирование) процесса и вывод полученных данных в виде наглядного интерфейса, их анализ и выработка решения. Этот путь следовало бы считать уже чисто компьютерным моделированием, но поскольку, как было отмечено выше, в основу наиболее распространенных компьютерных программ заложена та или иная математическая база, то данный вариант можно отнести к математическому моделированию. Тем более если судить по публикациям последних лет, к настоящему времени авторами уже не делается существенного различия между этими путями исследования.

Однако традиционно принято называть математическим моделированием формализацию задачи (описание с помощью формул), а компьютерным – реализацию этой математической модели на компьютере. Следует также отметить, что к компьютерному моделированию, очевидно, относится виртуальный эксперимент, практически полностью имитирующий различные технологические процессы и состояния, – что явно отличает его от математического моделирования, – который служит инструментом, а не средством решения задачи.

Математические модели некоторых процессов обработки металлов давлением и их реализация описаны в [1-7].

Использованные источники

1. Соломонов К.Н. Автоматизированное проектирование инструмента и технологий объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением, 2003, № 8, с. 42-48.
2. Лисуец Н.Л., Соломонов К.Н., Цепин М.А. Объемная штамповка алюминиевых заготовок. – М.: Машиностроение, 2009. – 172 с.
3. Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Применение неразрушающего контроля в процессах производства и эксплуатации транспортных систем // Труды XIV Всероссийской научно-технической конференции АКТ-2013. – Воронеж: Элист, 2013. – С. 287-291.
4. Соломонов К.Н., Федоринин Н.И., Тищук Л.И. Методика построения линии раздела течения металла в процессах осадки плоских заготовок // Вестник научно-технического развития, 2016, № 2, с. 36-55.
5. Соломонов К.Н., Федоринин Н.И., Тищук Л.И. Моделирование технологических методик пластического деформирования // Известия Самарского НЦ РАН, 2017, том 19, № 1 (3), с. 517-519.
6. Solomonov K., Tishchuk L. Virtual and physical simulation forming of flat workpieces under upsetting // Procedia Manufacturing, 2019, № 37, pp. 467-471.
7. Solomonov K.N., Tishchuk L.I. Simulation of deformation processes in upsetting // Journal of Physics: Conf. Series, 2019, vol. 1348, article no. 012020.

УДК 681.3

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ В ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТООБОРОТ ПРЕДПРИЯТИЯ

Яковлева Т.Ю.

Руководитель Лукин О.А.

Аннотация: Рассмотрены принципы алгоритмизации внесений изменений в электронный оборот документов предприятий

Ключевые слова: электронный технический документ, алгоритм принятия изменения, подсистема электронной почты, пакет изменений.

Abstract: Principles of Algorithms mization of Changes in Electronic Circulation of Enterprise Documents Discussed

Keywords: electronic technical document, change acceptance algorithm, e-mail subsystem, change package

Переход предприятий на безбумажные технологии приводит к необходимости изменения некоторых основополагающих принципов работы конструкторов и технологов. Одной из причин этого является сложность проведения изменений в документах и структуре изделия способами, ориентированными на «бумажное» проектирование. В связи с этим был реализован механизм проведения изменений, изначально ориентированный на «электронное» проектирование. Этот механизм позволит предприятиям практически полностью избавиться от создания и ведения на бумаге конструкторской, а иногда и технологической документации.

В электронном виде документ (электронный технический документ) состоит из двух частей: содержательной и реквизитной (Р50.1.027-2001). Содержательная часть документа рассматривается как единый и неделимый массив данных, в качестве которого может выступать любой файл, способный храниться в компьютере: 3D-модель, видеоролик, растровое изображение (например, отсканированный чертеж). Реквизитная часть содержит аутентификационные и идентификационные данные документа, в том числе одну или несколько ЭЦП. Документ имеет версии, которые создаются при редактировании документа, образуя дерево версий. Среди всех версий только одна является активной и рассматривается как актуальное содержание документа. При проведении изменения активной назначается другая версия, что равносильно замене одного содержания документа на другое (перевыпуск документа). Каждое такое изменение сохраняется. При этом указывается, кто, когда и на каком основании его провел. Вся информация, порождаемая при проведении изменений (служебные записки, документы, описывающие требуемые изменения и др.), сохраняется для последующего использования. В простейшем виде алгоритм изменения электронного технического документа представлен на Рис. 1.

Существует также алгоритм отложенного принятия изменения, который напоминает механизм выпуска предварительного извещения об изменении для бумажных документов. Отличие заключается в том, что содержание изменений заносится не в извещение, а сразу в документ, всегда формируя при этом его новую версию, которую потом необходимо сделать активной.



Рис. 1. Алгоритм проведения изменения электронного технического документа

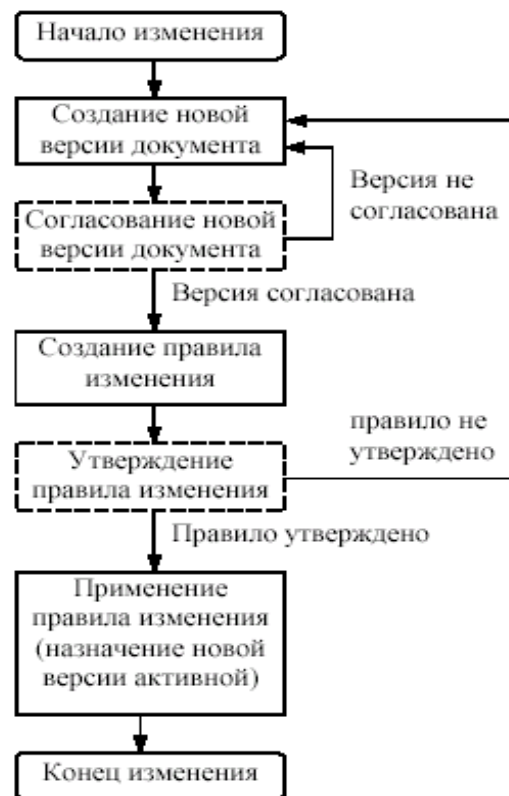


Рис. 2. Алгоритм отложенного изменения

Такое «извещение» указывает, какую именно версию необходимо сделать активной. Оно называется «правило изменения» и должно согласовываться и утверждаться отдельно. Таким образом, каждая новая версия документа сначала проходит согласование с разными службами, после чего создается правило изменения. Это правило утверждается сотрудником, принимающим решение о проведении изменения. Далее правило применяется (вручную или автоматически), и новая версия документа становится активной. Алгоритм, соответствующий описанному порядку, представлен на рис. 2 (пунктирной линией обозначены действия, которые могут не выполняться для документов некоторых типов).

Большинство технических изменений затрагивают сразу множество объектов. Например, изменение геометрии вала (изменение 3D-модели) приводит к изменению геометрии шестерни (изменение 3D-модели), замене подшипника и муфты (изменения структуры изделий). Все эти изменения должны рассматриваться как единое целое, утверждаться и применяться

одновременно. Поэтому правила изменений целесообразно объединить, создавая при этом пакет изменений. В приведенном выше примере пакет изменений будет состоять из четырех правил – двух для изменения документов (3D-моделей) и двух для изменения состава сборочных единиц.

В некоторых случаях пакет изменений целесообразно создавать при выдаче задания на проведение изменения, наполняя его правилами при детальной проработке. Предложенный подход позволяет упростить управление проработкой и проведением изменений.

В системе для проведения изменений служит специальный объект – «изменение». Форма для создания изменения представлена на рис. 4. Эта форма служит для задания множества правил изменений для документов и структуры изделия. При этом создавать правила для изменения структуры изделия можно двумя способами:

Выбирается изменяемая сборочная единица. В режиме редактирования ее структуры можно для каждой позиции задать новый компонент.

Выбирается заменяемый компонент. В списке использующих его сборочных единиц указываются те, в которых требуется провести изменение. После задания всех правил для проведения изменения, изменение согласовывается и утверждается целиком. Для обеспечения совместной работы группы сотрудников можно использовать встроенную подсистему электронной почты или управления потоками работ (Workflow). После утверждения изменение можно применить (внести). При необходимости дублирования электронных документов на бумаге, такое изменение можно представить в виде «бумажного» извещения об изменении.

Для просмотра состава изделий с учетом разных изменений система предоставляет две процедуры анализа (помимо отображения состава в виде дерева): функция сравнения составов и менеджер правил применяемости. Экранная форма менеджера правил применяемости представлена на Рис. 2.

Для оповещения сотрудников об изменениях существует специальный механизм подписки. Каждый сотрудник может подписаться на объекты (изделия и документы). Если примененное изменение затрагивает объекты, на которые есть подписка, то всем подписчикам будут автоматически отправлены письма с ссылками на изменение.

Большинство изменений в техническую информацию может быть внесено различными способами. Например, при изменении геометрии детали может быть осуществлено изменение документа, описывающего геометрию, или может быть создана новая деталь со своей геометрией, которая заменит старую деталь.

Способ внесения изменений должен выбираться индивидуально в каждом конкретном случае, но можно предложить некоторые общие рекомендации:

1. Если при изменении сборочной единицы изменяются её параметры, указанные в технических требованиях, то для нее должна создаваться новая версия.

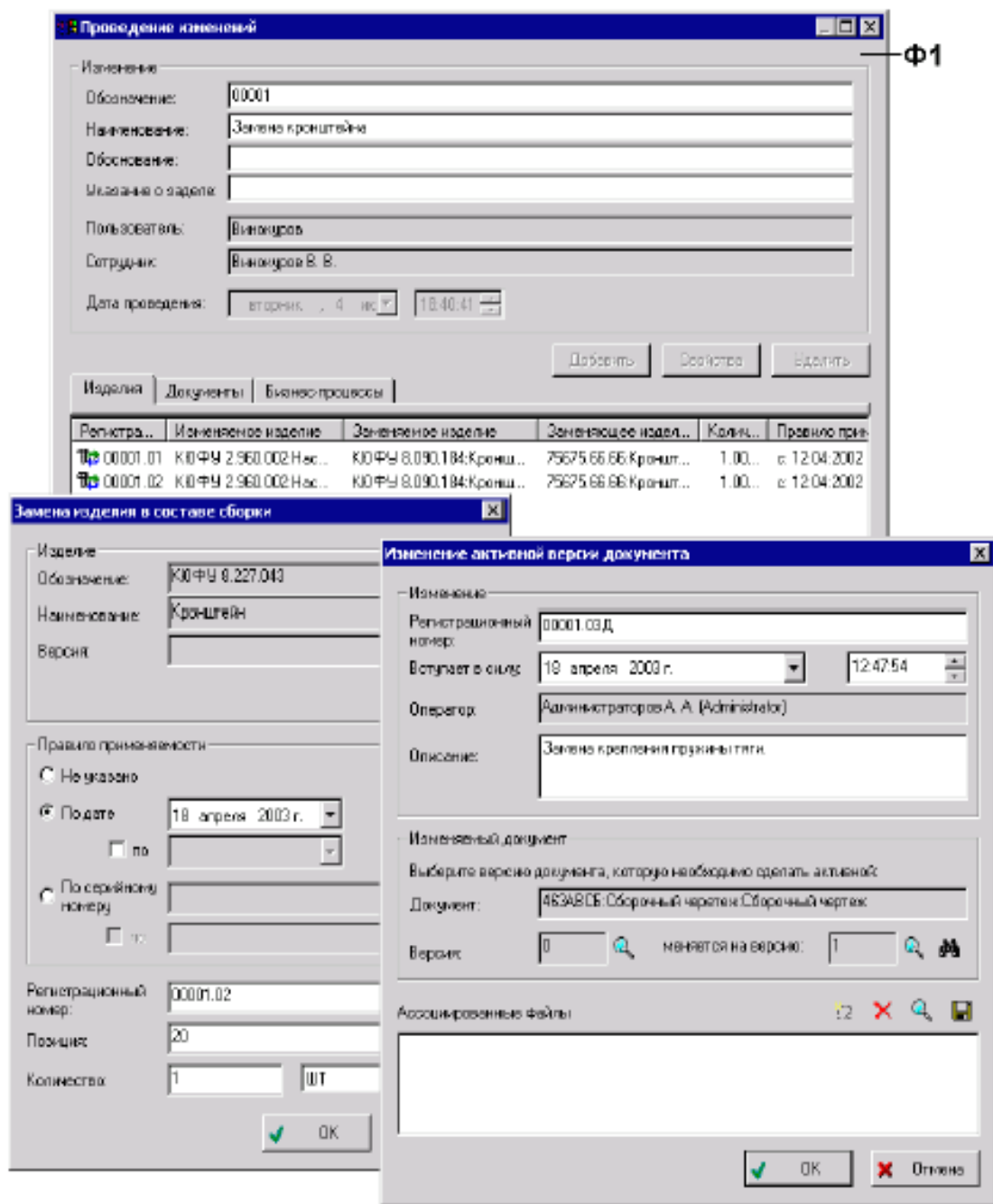


Рис.2. Экранная форма работы программы

2. Если изменяется геометрия детали, используемой только в одной сборочной единице, и изменение не влияет на эксплуатационные параметры изменяемой детали, то допускается не создавать новую версию детали, а вносить изменение непосредственно в документ, определяющий ее геометрию.

3. Если изменяется геометрия детали, используемой в нескольких сборочных единицах, и изменение должно отразиться во всех них, но при этом изменение не влияет на эксплуатационные параметры изменяемой детали, то допускается не создавать новую версию детали, а вносить изменение непосредственно в документ, определяющий ее геометрию.

4. Если изменяется состав сборочной единицы, а количество изменяемых компонент превышает три, то необходимо создать новую версию сборочной единицы, а указания на использование новой версии задать с помощью правил применяемости.

5. Рекомендуется минимизировать количество создаваемых при принятии изменения правил применяемости.

Перечисленные выше рекомендации в общем виде можно представить в виде алгоритма, изображенного на Рис. 3.

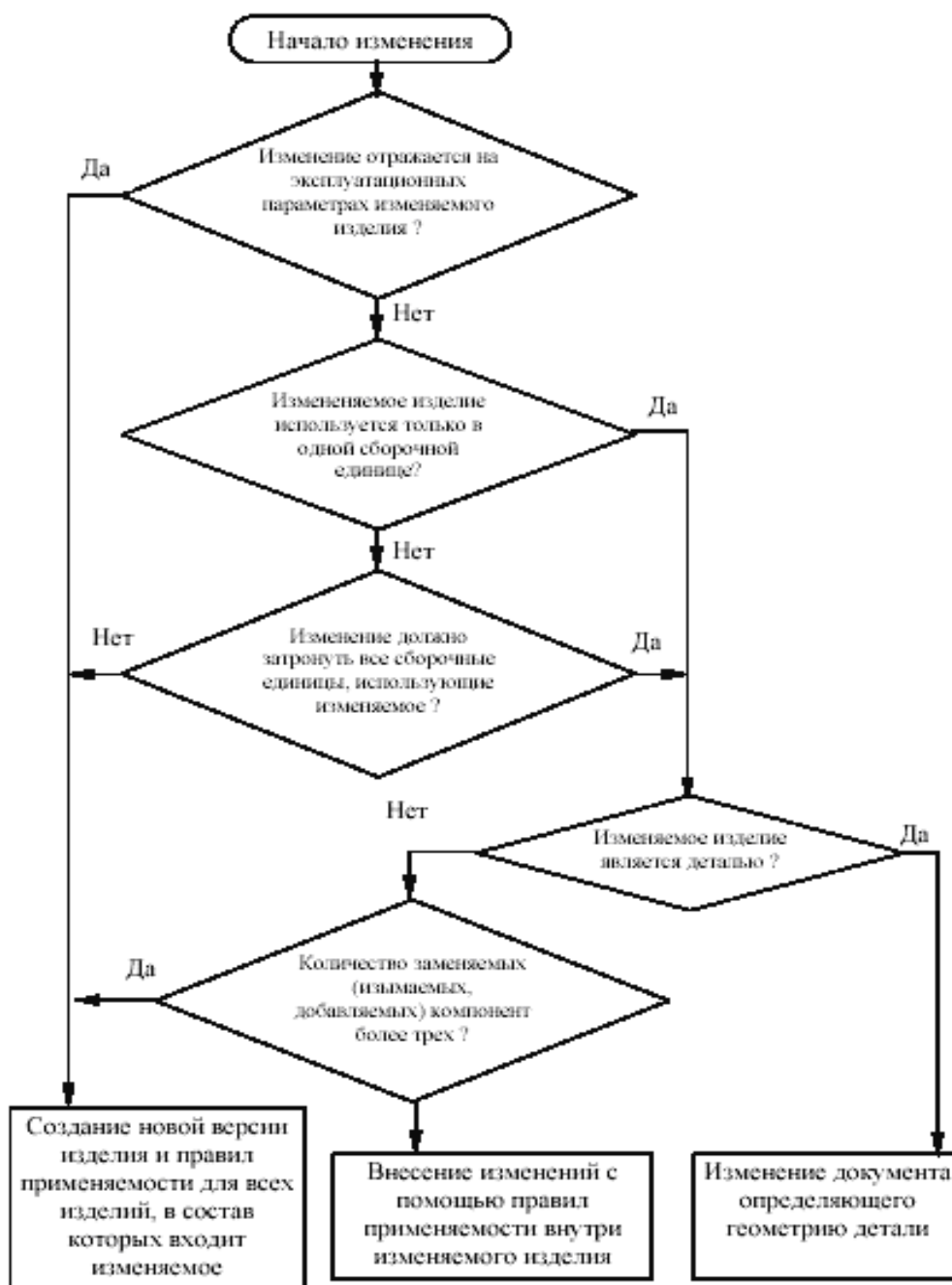


Рис. 3. Алгоритм выбора способа внесения изменений в изделие

Переход предприятий, на описанный механизм позволит сократить время разработки и согласования изменений до нескольких часов, а время

актуализации изменений (копирование и рассылка извещений, внесение изменений в бумажные копии) с нескольких дней до нескольких часов.

Список литературы:

1. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. – М. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.: ил.
2. Яблочников Е.И. Организация единого информационного пространства технической подготовки производства с использованием PDM SmarTeam // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2001. №3.

УДК 621.9

УСТАНОВКА ЗОННОЙ ОЧИСТКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТИПА

Фокин А.М.

Руководитель Лукин А.А.

Аннотация: Рассматриваются особенности установок зонной очистки материалов, процесса зонной плавки и ее математическая модель, вопросы определения эффективности рафинирования зонной плавкой

Features of zone cleaning plants, zone smelting process and its mathematical model, issues of determination of refining efficiency by zone smelting are considered

Ключевые слова: зонная плавка, сверхчистый материал, зонная очистка, полупроводниковый материал, концентрация, направленная кристаллизация.

Keywords: zone melting, ultra-pure material, zone cleaning, semiconductor material, concentration, directed crystallization.

С развитием высокотехнологических отраслей промышленности, среди которых электронная, авиационная, космическая, химическая и другие, возникла потребность в чистых и сверхчистых материалах, способных работать в условиях экстремально высоких температур, давлений, циклических нагрузок, агрессивных сред и т.д.

Традиционные физико-химические методы очистки материалов, включая металлургическую переработку, не позволяли достичь желаемого эффекта. Поэтому опубликованные в 1952 году Пфанном результаты по очистке германия зонной плавкой были значимым событием, открывшем новые возможности в области рафинирования полупроводников и металлов [1].

Зонная плавка является одним из наиболее эффективных и производительных методов глубокой очистки. При его реализации перед началом кристаллизации расплавляется не весь твердый образец, а только узкая

зона, которую медленно перемещают вдоль слитка. Происходит постепенное расплавление отдельных участков образца, находящихся в зоне нагревания. Примеси, содержащиеся в образце, накапливаются в жидкой фазе, вместе с ней передвигаются и по окончании плавки оказываются в конце образца. Для достижения высокой степени очистки зонную плавку повторяют многократно.

Преимущества зонной плавки перед другими методами очистки увеличиваются при многократной кристаллизации, которая реализуется в процессе многократной зонной очистки.

Если зонная плавка осуществляется в камере (тигле), то по ряду причин (удобство визуального наблюдения за твердой и жидкой фазами, простота удаления материала из камеры и т.д.) её стараются осуществлять в камере с горизонтальной загрузкой.

Выбор материала камеры для проведения зонной очистки зависит от природы очищаемого вещества. Основные требования к материалу камеры - это отсутствие загрязнений и химического взаимодействия с расплавом, несмачиваемость, минимальная пористость, являющаяся источником адсорбирования газа в пустотах.

Для менее активных веществ, подлежащих зонной очистке, в качестве материала камеры используют кварц, графит, оксид алюминия и магния.

Каждое вещество может находиться в состоянии, которое характеризуется содержанием примеси в нем ниже некоторого определенного предела. Предел содержания примеси определяется различными условиями, связанными со свойствами, областью применения веществ. Для полупроводниковых материалов достижения собственных свойств или близких к ним является тем необходимым пределом до которого материалы должны очищаться. При обосновании необходимой очистки нужно руководствоваться и экономической целесообразности очистки [2].

Для очистки полупроводниковых материалов в технологии микроэлектронных устройств используется метод зонной плавки (перекристаллизация). В некоторых случаях в технологии полупроводниковых материалов выращивают монокристаллы методом зонной плавки. Достоинством метода является совмещение процесса глубокой очистки полупроводника с последующим выращиванием его монокристалла. В технологии разлагающихся полупроводниковых соединений применение этого метода позволяет совмещать в одном технологическом цикле сразу три операции: синтез, очистку синтезированного соединения и выращивание его монокристалла.

Для введения в полупроводник примеси используется процесс диффузии. Для изготовления *p-n* переходов используется химическая диффузия примесных (растворимых) атомов, которые вводятся в кристаллическую решетку для изменения ее электрофизических свойств. Кроме того, диффузия используется для перераспределения примеси в полупроводнике.

В связи с различной растворимостью примесей в твердой и жидкой фазах зонная плавка является одним из наиболее эффективных и производительных методов глубокой очистки монокристаллов. При его реализации перед началом

кристаллизации расплавляется не вся твердая фаза кристалла (рисунок 1), а только узкая расплавленная зона, которую перемещают вдоль слитка.

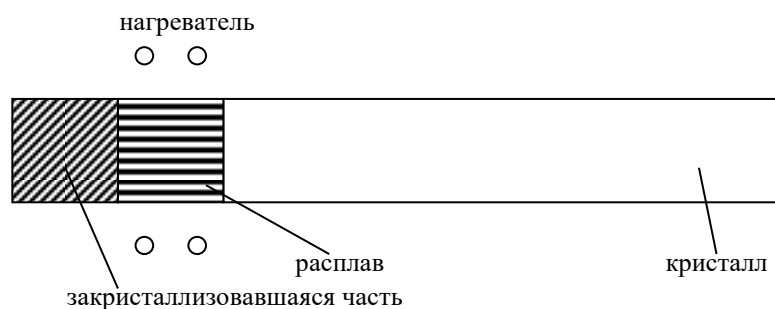


Рисунок 1 – Схема зонной плавки

Большинство примесей обладает хорошей растворимостью в жидкой фазе по сравнению с твердой (равновесный коэффициент сегрегации $k_0 < 1$), поэтому по мере продвижения зона плавления все больше насыщается примесями, которые скапливаются на конце слитка. Обычно процесс зонной плавки повторяют несколько раз, по окончании очистки загрязненный конец слитка отрезают. Для ускорения процесса очистки вдоль контейнера ставят несколько индукторов для образования ряда зон плавления. Для материалов с $k_0 > 1$ очистка материалов зонной плавкой практически невозможна.

Распределение примесей после одного прохода расплавленной зоной при зонной плавке вдоль слитка представляется уравнением

$$N_{ms} = N_o \cdot \{1 - (1 - k_o) \cdot \exp(-k_o \cdot x/l)\} \quad (1)$$

где N_{ms} – концентрация примеси в закристаллизовавшейся фазе на расстоянии x от начала слитка;

N_o – исходная концентрация примеси в очищаемом материале;

x – текущая координата (расстояние от начала слитка);

l – длина расплавленной зоны;

k_o – равновесный коэффициент распределения.

Если измерять длину слитка в длинах расплавленной зоны $a = x/l$, выражение (3.1) следует записать иначе:

$$N_{ms} = N_o \cdot \{1 - (1 - k_o) \cdot \exp(-k_o \cdot a)\} \quad (2)$$

Приведенные уравнения (1) и (2), являющиеся математическим описанием процесса зонной плавки, выведены при определенных допущениях, сформулированных автором метода зонной очистки В. Пфанном при выводе этих уравнений. Эти допущения в литературе принято называть пфанновскими, их суть в следующем: процессами диффузионного перераспределения компонентов системы в объеме слитка можно пренебречь, т.е. коэффициенты диффузии компонентов в твердой фазе принимаются равными нулю ($D_{тв} = 0$); диффузия компонентов системы в жидкой фазе совершенна - концентрация компонентов постоянна по объему расплава в любой момент процесса; коэффициент распределения примеси – величина постоянная и не зависит от концентрации примеси в кристаллизующемся веществе (кривые солидус и

ликвидус диаграммы состояния прямолинейны); начальная концентрация компонентов в исходном материале (слитке) одинакова по всем сечениям; геометрия подвергаемого зонной плавке слитка (длина и поперечное сечение) в ходе процесса остаются постоянными, плотности твердой и жидкой фаз равны; расплав и твердая фаза при зонной плавке не взаимодействуют с окружающей средой - атмосферой и контейнером. Другими словами, в системе нет летучих и диссоциирующих компонентов, отсутствует поглощение примесей расплавом из атмосферы, материал контейнера не растворяется в жидкой фазе.

Уравнения (1) и (2) справедливы только на участках слитка, на которых зона имеет две границы раздела фаз (постоянный объем). Когда в системе остается только кристаллизующаяся граница, распределение примеси представляется другим уравнением, соответствующим процессу нормальной направленной кристаллизации. Другими словами, если длина очищаемого слитка в длинах зон равна $A = L/l$, то уравнения (1) и (2) справедливы на длине $a = (L - l)/l = A - 1$.

При $a_0 = A - 1$

$$N_{me} = N_o \cdot k_{эфф} (1 - g)^{(k_{эфф} - 1)}, \quad (3)$$

где g - доля закристаллизовавшегося расплава последнего участка.

Только при проведении процесса при условиях, когда удовлетворяются все требования, приведенные выше, реальное распределение примеси в слитке после зонной плавки будет соответствовать закону, представленному выражениями (1) и (2).

Анализ показывает, что в большинстве реально протекающих процессов зонной очистки полупроводниковых материалов пфанновские допущения не реализуются [3]. Вместе с тем, вывод уравнений (1) и (2) без них был бы невозможен, а менее жесткие допущения приводят к существенному усложнению получаемых выражений.

Наиболее жесткими являются условия 2 и 3.

Допущение 2 в данной формулировке может выполняться только при бесконечно малых скоростях кристаллизации (скорости движения зоны). В этом случае сравнительно быстрая (по сравнению с диффузией в твердой фазе) диффузия в жидкой фазе в состоянии постоянно выравнять концентрации компонентов системы в объеме расплавленной зоны.

Использование выражений (1) и (2) для представления распределения примеси при реальных скоростях кристаллизации приводит к необходимости изменить формулировку допущения 2. Выполнение условия постоянства концентрации компонентов по объему расплава возможно в данной ситуации только при реализации полного (идеального) перемешивания жидкой фазы. Предполагается, что в этом случае перераспределение компонентов и выравнивание состава в жидкой фазе происходит мгновенно - т. е. эффективный коэффициент диффузии в жидкой фазе $D_{ж}$.

Условие полного перемешивания на практике реализовать невозможно. Процессы массопереноса в расплавленной зоне при реальных скоростях кристаллизации и разумной интенсивности перемешивания всегда приводят к

образованию диффузионного слоя на границе раздела фаз в области кристаллизации. Наличие слоя жидкости с концентрационным пиком, из которого и происходит кристаллизация, влияние его на условия разделения компонентов учитывается введением в выражения (1) и (2) эффективного коэффициента распределения $k_{эфф}$ вместо равновесного k_o .

Равновесный коэффициент сегрегации связан с эффективным соотношением Бартона-Прима-Слихтера:

$$k_{эфф} = \frac{k_o}{k_o + (1 - k_o) \exp\left(-\frac{V_{кр} \cdot \delta}{D_{ж}}\right)} \quad (4)$$

где $V_{кр}$ - скорость перемещения расплавленной зоны (скорость кристаллизации); δ - толщина диффузионного слоя; $D_{ж}$ - коэффициент диффузии примеси в жидкой фазе.

Эта замена является лишь более или менее удачным приближением к реальной ситуации, и не соответствует требованию условия постоянства концентрации.

Распределение примеси после зонной плавки для реальных процессов описывается выражением

$$N_{mв} = N_o \cdot \{1 - (1 - k_{эфф}) \cdot \exp(-k_{эфф} \cdot a)\} \quad (5)$$

Данное выражение позволяет анализировать влияние на сегрегационные процессы скорости перемещения зоны и условий перемешивания жидкой фазы.

Условие 3 справедливо только для сильно разбавленных растворов, т.е. при малых концентрациях примеси в системе. Кроме того, условие малости концентрации должно соблюдаться на протяжении всего процесса зонной плавки. Для того, чтобы допущение 3 оказалось состоятельным, требуется использовать при кристаллизационной очистке исходные материалы прошедшие предварительную очистку.

3 Определение эффективности рафинирования зонной плавкой

Эффективность очистки зонной плавкой при изменении концентрации примеси в пределах 0,01...3,1 % определяли отношением исходной концентрации примеси в слитке (C_o) к максимальному её значению в конце слитка ($C_{mв}$) после однократного прохода расплавленной зоной. Данные расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1. - Эффективность рафинирования зонной плавкой при изменении исходной концентрации примеси в диапазоне 0,01...3,1 %

C_o	$C_{mв}$	$C_o/C_{mв}$	%
0,01	0,04	0,25	25
0,1	0,4	0,25	25
1,1	4,4	0,25	25
2,1	8,4	0,25	25
3,1	12,4	0,25	25

Полученные результаты свидетельствуют, что после однократного прохода расплавленной зоны эффективность очистки слитка от примеси, содержащейся в пределах 0,01...3,1 %, практически одинаковая и составляет 25 %.

Список литературы:

1. Романенко В.Н. К пятидесятилетию процесса зонной плавки // Материалы электронной техники. 2001. № 4. С.40-41.
2. Сивашова, Н.К. Исследование процесса кристаллизационной очистки германия в кварцевых контейнерах с барьерными покрытиями / Н.К. Сивашова, Т.А. Васильева, Рожкова А.И. // Специальное инженерное образование – подготовка современных инженерных кадров: тезисы региональной научно-технической конференции магистрантов [Электронный ресурс] / отв. за выпуск Е. А. Шипилова. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013.
3. Даулетбаков Т.С., Досмухамедов Н.К., Меркулова В.П., Жолдасбай Е.Е., Нурлан Г.Б. Способ и устройство зонной плавки для получения сверхчистых металлов // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 7. – С. 26-29;

ТРУДЫ 79-й МЕЖДУНАРОДНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ РГУПС
(ЧАСТЬ 2)

Секция «Детали машин и материаловедение»
(Воронеж, 14 апреля 2020г.)

Отпечатано: филиал РГУПС в г. Воронеж
г. Воронеж, ул. Урицкого 75А
тел. (473) 253-17-31

Подписано в печать 21.04.2020 Формат 21x30 ½
Печать электронная. Усл.печ.л. – 2,5
Тираж 20 экз.