



Министерство науки и высшего образования РФ

Союз машиностроителей России

АО «Ульяновский НИАТ»

ФГБОУ ВПО Ульяновский государственный технический университет

Кафедра «Материаловедение и обработка металлов давлением»

Кафедра «Технологии заготовительно-штамповочного производства»

«Наука, теория, практика авиационно- промышленного кластера современной России»

Материалы V Международной научно-производственной
конференции, приуроченной ко Дню Российской науки
(Россия, г. Ульяновск, 6–7 февраля 2020 г.)

Сборник научных трудов

Ульяновск
УлГТУ
2020



The Ministry of science and higher education
of the Russian Federation
Russian engineering union
PC «Ulyanovsk Research Institute of Aviation Technology
and Production Organization»
Ulyanovsk State Technical University
Department of Material Sciences and Fabricating Technology
Department "technology of blanking-die forging"

«Science, theory and practice of the aviation industry cluster of modern Russia»

Proceedings of the V international scientific and production conference
dedicated to the Day of Russian science

Collection of proceedings

Ulyanovsk, 6–7 February 2020

УДК 629.7+658

ББК 39.5+30.6

Н 34

Редколлегия: Ярушкина Н. Г.;
Марковцев В. А.;
Марковцева В. В. (ответственный секретарь)

УДК 629.7+658

Наука, теория, практика авиационно-промышленного кластера современной России. Материалы V Международной научно-производственной конференции, приуроченной ко Дню Российской науки (Россия, г. Ульяновск, 6–7 февраля 2020 г.) [Электронный ресурс] : сборник научных трудов. Электронные данные. – Ульяновск : УлГТУ, 2020. – 230 с.

В сборник вошли тезисы докладов, представленных на V Международной научно-производственной конференции, приуроченной ко Дню Российской науки, «Инновации в технологиях формообразования листовых материалов и моделирование технологических процессов в авиационной и других отраслях промышленности», проводимой АО «Ульяновский НИАТ» и УлГТУ.

Материалы представлены в авторской редакции.

© Коллектив авторов, 2020

ISBN 978-5-9795-2016-2

© Оформление. УлГТУ, 2020

Состав организационно-программного комитета

Ярушкина Н. Г.	Председатель, врио ректора Ульяновского государственного технического университета, д.т.н., профессор
Марковцев В. А.	Сопредседатель, генеральный директор АО «Ульяновский НИАТ», зав. каф. «Технологии заготовительно-штамповочного производства», д.т.н.
Ефимов С.И.	Председатель Ульяновского регионального отделения ООО «Союз машиностроителей России»
Шишкин В.В.	Директор ИАТУ УлГТУ, доцент, к.т.н.
Кокорин В. Н.	Зав.каф. «Материаловедение и обработка металлов давлением» УлГТУ, д.т.н., профессор
Гречников Ф.В.	Зав. каф. «Обработка металлов давлением» Самарского НИУ им. академика С.П.Королева (г. Самара), академик РАН, профессор, д.т.н.
Закиров И.М.	Академик АН РТ, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры прочности конструкций КНИТУ им. А.Н. Туполева – «КАИ» (г. Казань), д.т.н.
Филимонов В. И.	Профессор кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением» УлГТУ, д.т.н.
Милюков С. Ф.	Директор Ульяновского филиала ПАО «Корпорация «Иркут»
Рыжаков С. Г.	Директор Ульяновского филиала ПАО «Туполев»
Пирогов А.Н.	начальник УИП АО «Авиастар-СП»
Марковцева В.В.	Ответственный секретарь Конференции, н.с. АО «Ульяновский НИАТ», к.т.н.

Уважаемые коллеги!

Основная цель V-й Международной научно-производственной конференции «Инновации в технологиях формообразования листовых материалов и упрочения технологической оснастки в авиационной и других отраслях промышленности» остается прежней – расширить тематику АО «Ульяновский НИАТ» и кафедры «Технологии заготовительно-штамповочного производства» (УлГТУ – АО «Ульяновский НИАТ»). Объединить научно-теоретические, научно-производственные, технико-технологические, социально-гуманитарные исследования (с 2017 года в структуру конференции включена Гуманитарная секция). Научные проблемы, которые поднимаются в содержании последней, расширяют понимание роли и значения человеческого фактора в динамике новейших технологий авиационного кластера современной России.

Несмотря на ярко выраженный научно-производственный аспект данной НПК, в темах многих докладов и в ходе их обсуждений так или иначе были затронуты актуальные проблемы и достижения современной науки, образования, культуры.

Диапазон научно-теоретического, инженерно-гуманитарного, производственного характера специализированного проектирования тем участников конференции касался всех сторон современной организации производства авиационной и других отраслей промышленности. Особо отметим представленные на конференции научно-практические результаты коллег из г. Москвы (МГТУ им. Н. Э. Баумана, НИУ МАИ), СНИУ им. С.П. Королёва, Тольяттинского государственного университета, Ульяновского предприятия АО «Авиастар-СП» и др.

Конференция «Инновации в технологиях формообразования листовых материалов и упрочения технологической оснастки в авиационной и других отраслях промышленности» продолжает оставаться актуальной научной «площадкой» идей, концепций, изобретений, опытных технологий, способствующих развитию связи науки с промышленным комплексом Ульяновского региона, страны.

Оргкомитет конференции.

Секция 1

«Заготовительно-штамповочное производство в машиностроении»

УДК 621.981

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГНУТОГО
ПРОФИЛЯ “ДОРОЖНЫЙ ОТБОЙНИК” И ОЦЕНКА
УДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОГРАЖДЕНИЯ ПРИ НАЕЗДЕ
ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

Баранов А.С.¹, Илюшкин М.В.², Марковцев В.А.³

1 – нач. НИО-110 АО “Ульяновский НИАТ”

2 – к.т.н., зам. генерального директора по науке АО “Ульяновский НИАТ”

3 – д.т.н., генеральный директор АО “Ульяновский НИАТ”

Аннотация. В статье приведены технологические схемы, разработанные на АО “Ульяновский НИАТ” для производства профиля “Дорожный отбойник”, а также оборудование для изготовления данного профиля. Проведена оценка конструкции из профиля “Дорожный отбойник” на удерживающую способность при ударе транспортного средства моделированием в программе LS-DYNA. Определены подходы для увеличения точности результатов

Ключевые слова: дорожный отбойник, технологические схемы, станок, транспортное средство, LS-DYNA, удерживающая способность.

**RESEARCH OF MANUFACTURING THE BENT PROFILE "ROAD
FENCE" AND ASSESSMENT OF THE RETENTION OF THE ROAD
FENCE WHEN HITTING A VEHICLE**

Baranov A.C. 1, Ilyushkin M.V. 2, Markovcev V.A. 3

1 – Head of department PC "ULYANOVSK NIAT"

2 – Deputy of general director in science PC "ULYANOVSK NIAT", c.t.s.

3 – General director in science PC "ULYANOVSK NIAT", d.t.s.

Abstract. The article presents the technological schemes developed at JSC "Ulyanovsk NIAT" for the production of the profile “road fence”, as well as equipment for the production of this profile. The design of the “road fence” was evaluated for its retention when the vehicle was hit by modeling in the LS-DYNA program. Approaches for increasing the accuracy of results are defined.

Key words: road fence, technological schemes, LS-DYNA, equipment, vehicle, retention.

В настоящее время в рамках реализации федеральной целевой программы «Модернизация транспортной системы России» в строительстве новых и в реконструкции старых автодорог и мостов широко применяются дорожные ограждения на основе профиля отбойник (рис.1). Дорожные ограждения разделяют встречные полосы движения на многополосных магистралях, а также устанавливаются по обочинам опасных участков автодорог, проходящих по склонам, рядом с горными обрывами или вблизи берегов водоемов, на высоких насыпях, мостах, эстакадах — везде, где выезд

автомобиля за пределы проезжей части дороги может создать угрозу безопасности движения.

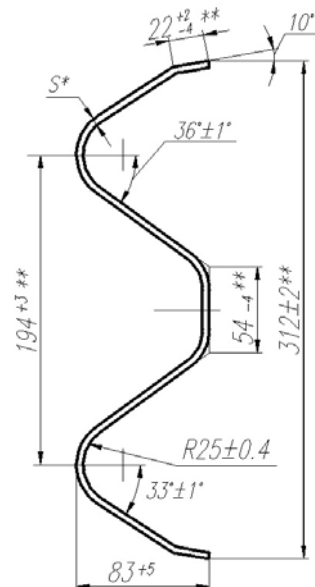


Рис. 1. Дорожное ограждение

Одним из основных предназначений дорожных ограждений является удержание автомобиля на проезжей части. Стальная конструкция, деформируясь, принимает на себя силу удара, а автомобиль, оттолкнувшись от ограждения, возвратится на проезжую часть дороги. Оградительные конструкции обладают жесткостью, обеспечивающей восприятие больших воздействующих на них сил (удар от движущегося автомобиля), и вместе с тем остаются достаточно упругими, чтобы амортизировать при таком ударе. Благодаря сегментной конструкции ограждений можно быстро и без значительных затрат произвести замену деформированных элементов.

В данной статье рассматривается технология получения одного из элементов дорожного ограждения (гнутый профиль “Дорожный отбойник”) при различных схемах деформирования и наезд на конструкцию из этого профиля транспортного средства.

Особенностью профиля “Дорожный отбойник” является наличие двух ребер жесткости глубиной 83 мм с отбортовками при их вершинах.

Одной из основных проблем, возникающих при изготовлении такого профиля, является дефект кромковой волнистости, который проявляется в результате образования продольных деформаций по горизонтальным полкам.

Основой получения бездефектного профиля является разработка технологических схем и режимов формообразования, что включает в себя определение количества технологических переходов, выбор оптимальных углов подгибки, последовательность подгибки элементов. Это и является первостепенной задачей, подлежащих рассмотрению.

При разработке технологической схемы были проработаны несколько вариантов формовки, а именно: последовательная схема за 16 технологических переходов – плавная подгибка рифтов с отбортовками с одинаковыми углами подгибки и параллельная схема за 12 технологических переходов – интенсивная подгибка рифтов с отбортовками (рис.2). Основным критерием выбора было равномерное перемещение отбортовки по переходам. При этом толщина изменяется от 2 до 4 мм.

Сравнить несколько предложенных схем помогают средства компьютерного моделирования, например, использование программы LS-DYNA. АО «Ульяновский НИАТ» использует эту программу для моделирования различных технологических процессов, в том числе для моделирования различных технологических схем и роликовых калибров.

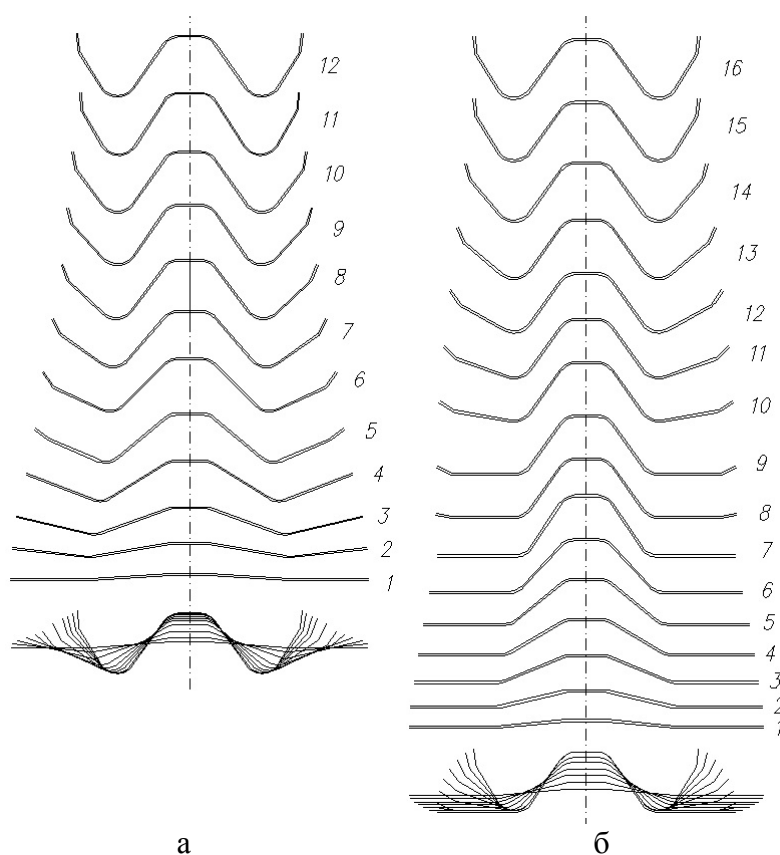


Рис. 2. Варианты технологических схем: а – одновременная схема подгибки элементов (12 переходов), б – последовательная схема подгибки (16 переходов)

Специалистами АО «Ульяновский НИАТ» была разработаны и с успехом внедрены на многих предприятиях России (завод «Металлостройдеталь-3», г. Пенза, ОАО «КТЦ «Металлоконструкция», г. Ульяновск, г. Якутск, ООО ПКФ «Иристон», г. Златоуст) автоматизированные линия изготовления профилей дорожного ограждения.

Все профили (рис. 1), применяемые в дорожных ограждениях, можно изготовить, используя станок типа ГПС-500М16 и технологическое оснащение к нему.



Рис. 3. Гибочно-прокатный стан
ГПС500-М16

Станок выпускается в АО «Ульяновский НИАТ» и отличается мобильностью переоснащения, компактностью, экономичностью, имеет малое энергопотребление, время переналадки технологической оснастки при переходе с одного профиля на другой составляет не более 60 мин, что позволяет постоянно увеличивать номенклатуру и объем выпуска профилей. Данное оборудование позволяет получить профиль с заданной продольной кривизной в соответствии с радиусом поворота участка дороги. Минимальный радиусгиба — 0,5–1 м. Точность радиуса — ± 5 мм.

Дорожные ограждения, производимые на данном оборудовании, имеют удерживающую способность до 600 кДж.

Тенденции нового времени - это уменьшения толщины исходной заготовки с 4 до 2 мм, при этом возможно образования дефекта кромковой волнистости (рис. 4а). Это проблема обычно успешно решается сотрудниками АО «Ульяновский НИАТ» путем подстройки роликовых калибров (рис. 4б).



Рис. 4. Практические испытания: а - наличие дефекта кромковой волнистости,
б - кондиционный профиль без дефектов

Снижение толщины исходной заготовки приводит к уменьшению удерживающей способности дорожного ограждения, что может привести к дорожным авариям. Но ограждения в зависимости от расположения (класс дорог, количество автомобилей в сутки и т.д.) может иметь различную удерживающую способность [4].

Оценить удерживающую способность при наезде транспортного средства позволяют программы компьютерного моделирования, например программа LS-DYNA, в которой может быть смоделирован процесс удара транспортного средства (легкового, грузового автомобиля или автобуса) о дорожное ограждение. При этом расчет может быть выполнен для различных конструкций ограждения, например при варьировании толщины компонентов ограждения (отбойника, стоек, амортизаторов и т.п.) и выбран вариант с минимальной металлоемкости конструкции, но имеющих требуемую удерживающую способность.

Для получения точных данных требуется соблюдения определенной методики при проведении данных исследований, что включает в себя несколько этапов:

- практическое испытание дорожного ограждения на испытательном полигоне методом наезда автомобиля или автобуса с оформлением протокола испытания;
- моделирование данного процесса в программе инженерного анализа LS-DYNA;
- сравнение результатов (валидация процесса) моделирования и практического испытания. Соответственно результаты должны иметь погрешность не более 10-15%;

- варьирование конструкции из дорожного ограждения и моделирование каждого варианта с целью определения наилучшего варианта.

Как видно при таком подходе практическому испытанию подлежит только одно ограждение, а лучший вариант с точки зрения минимальной металлоемкости и максимальной удерживающей способности получаются средствами компьютерного моделирования. При этом адекватность подтверждается валидацией исходного испытания.

Одной из сложных задач моделирования является точный учет всех параметров:

- точные модели материала ограждения и транспортные, учитывающие кривые упрочнения от скорости деформации;
- адекватные модели материала грунта, бетона;
- предварительная затяжка болтовых соединений, анкеров и т.п.

Только в этом случае валидация будет проведена успешно и как следствие, моделирование будет совпадать с практикой.

Сотрудники АО «Ульяновский НИАТ» протестировали наезд различных транспортных средств на дорожное ограждение (рис. 4)

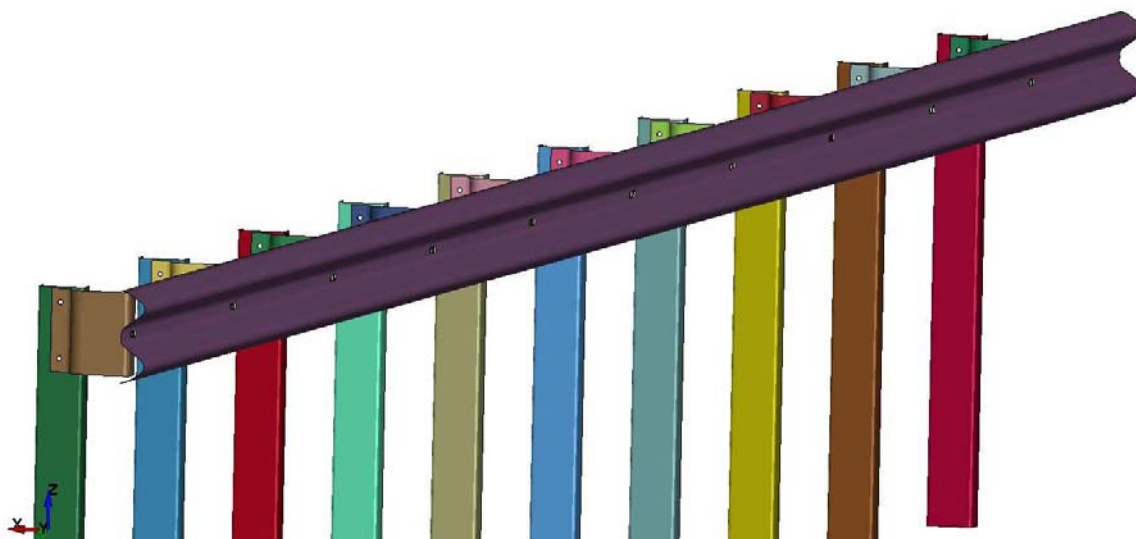
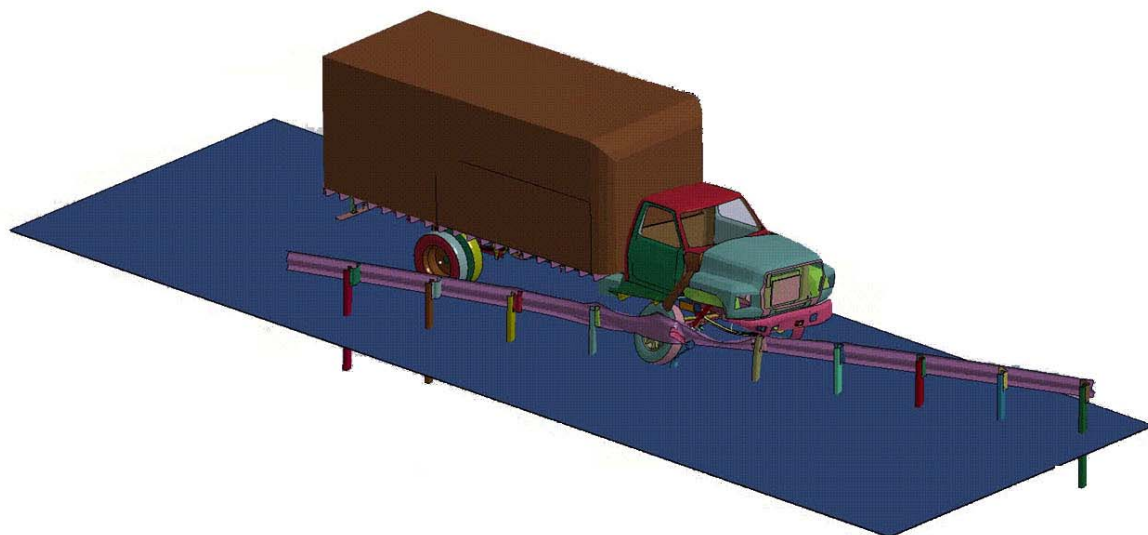
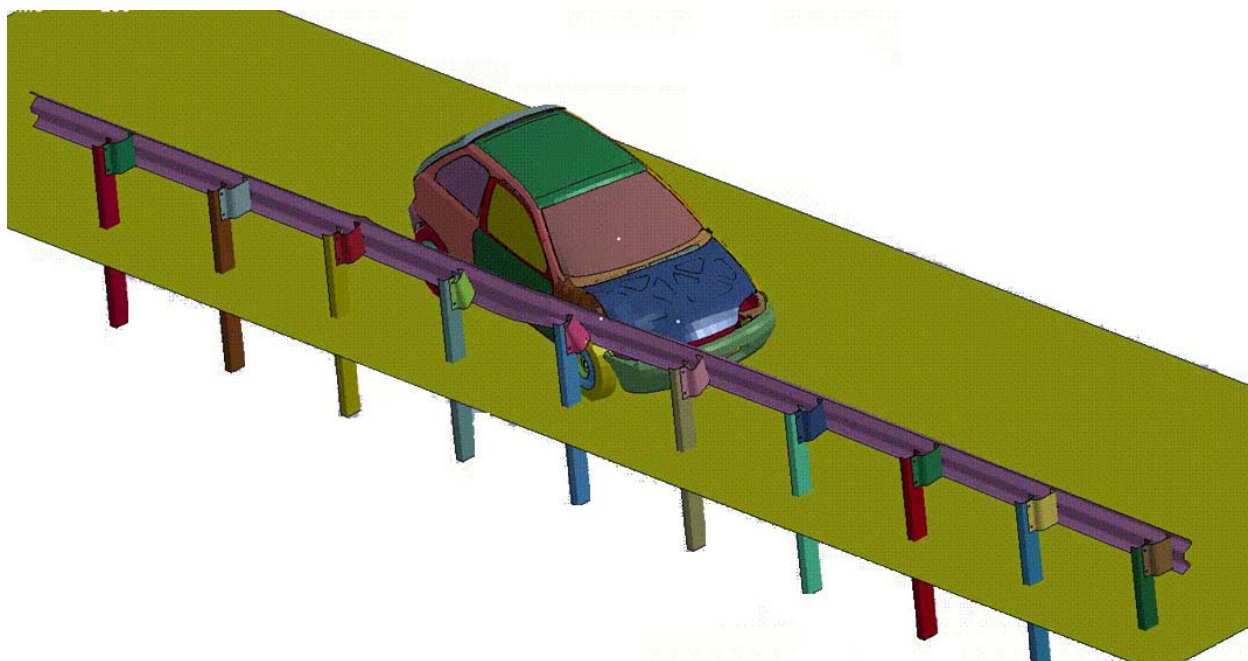


Рис. 4. Пример дорожного ограждения, состоящий из профилей дорожный отбойник,
С-образный профиль, амортизатор

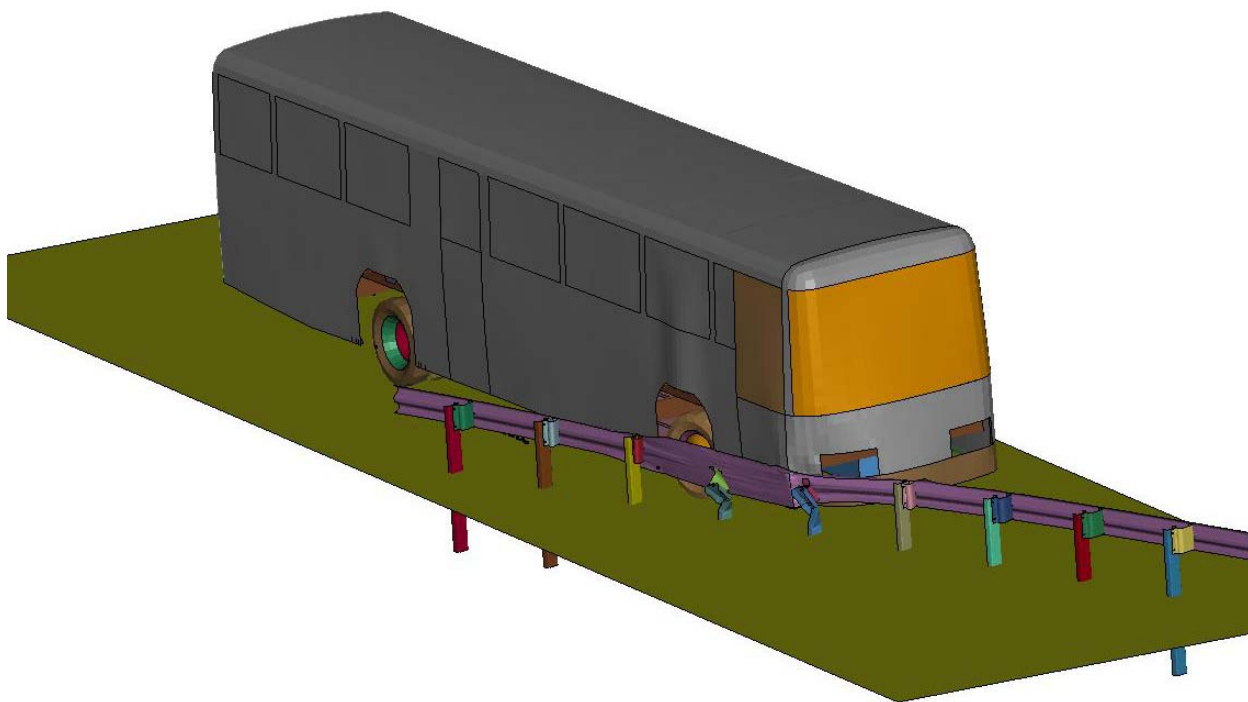
Модель транспортного средства по массовым и габаритным размерам должна соответствовать практическому испытанию. На транспортное средство задается начальная скорость, и вращение колес также соответствует начальной скорости без проскальзывания. Определяется сила тяжести на все объекты модели. Определяется контакт со всеми частями модели. Транспортное средство располагается под заданным углом к ограждению, в данном случае 20 градусов.



а



б



с

Рис. 5. Результаты моделирования наезда транспортного средства на дорожное ограждение: а – грузовой автомобиль, б – легковой автомобиль, с - автобус

Использование средств компьютерного моделирования позволяет подобрать конструкцию дорожного ограждения, имеющей минимальную металлоемкость при максимальном удерживающем эффекте. При этом затраты на моделирование значительно меньше по сравнению с практическим испытанием, кроме того время требуемое на моделирование с каждым годом уменьшается в связи с применением более высокопроизводительных вычислительных систем.

Библиографический список

1. Илюшкин М.В., Марковцев В.А., Баранов А.С. Математическое моделирование в программе LS-DYNA процесса изготовления гнутых перфорированных профилей на автоматизированной линии на базе станка ГПС // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП-2010 года): материалы 7-й Всероссийской научно-техн. конф.-Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-т, 2010.-с. 53-57.
2. Лапин В.В., Баранов А.С., Филимонов С.В. Особенности отработки технологии изготовления в роликах Т-образного профиля типа // Формообразование гнутых профилей: теория и практика. (2012 г.): Сборник

научных трудов / под науч. ред. д-ра техн. наук, профессора В.И. Филимонова. – Ульяновск : УлГТУ, 2012. – с. 40-46.

3. Марковцев В.А., Илюшкин М.В., Баранов А.С. Математическое моделирование процесса изготовления профиля из листовых заготовок с малыми относительными радиусами зон сгиба // Формообразование гнутых профилей: теория и практика. (2012 г.): Сборник научных трудов / под науч. ред. д-ра техн. наук, профессора В.И. Филимонова. – Ульяновск : УлГТУ, 2012. – с. 64-70.

4. ГОСТ 33129-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Ограждения дорожные. Методы контроля.

УДК 621.981

О ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

Гульшин В.А.¹, Кондратьев Е.Д.², Филимонов В.И.³

1 – к.т.н., доц., нач. Центра подготовки специалистов АО «Ульяновский механический завод», г. Ульяновск;

2 – ведущий инженер-программист АО «Ульяновский механический завод» г. Ульяновск;

3 – д.т.н., проф., ВНС АО «Ульяновский НИАТ» г. Ульяновск.

Аннотация. На основе анализа номенклатуры профильных деталей РЛС разработан классификатор их профильных элементов. Рассмотрены методы изготовления профилей-заготовок в валках профилегибочных станков для последующего производства таких деталей и в качестве подходящего выбран метод интенсивного деформирования. Указано на необходимость организационных мер и на повышение уровня автоматизации профилировочных линий для освоения номенклатуры профильных деталей РЛС.

Ключевые слова: радиолокационная станция, классификатор профильных элементов, профилирование в валках, метод интенсивного деформирования.

ON PROFILED PARTS PRODUCTION FOR MODERN RADAR STATIONS

Gulshin V.A.¹, Kondratiev E.D.², Filimonov V.I.³

¹head of Training Center in «Ulyanovsk Mechanical Plant», JSC, c.t.s., assist. prof.; Ulyanovsk

²leading programmer of “Ulyanovsk Mechanical Plant”, JSC Ulyanovsk;

³leading researcher of «Ulyanovsky NIAT», JSC, d.t.s., prof Ulyanovsk.

Abstract. The radar station profiled parts range analysis made it possible to establish a classifier for such parts. There were considered roll-forming methods for further production of the above parts and the intensive deformation method was chosen as a suitable one. It was stressed that organizing measures and further automation are to be involved into radar station parts manufacturing.

Keywords: radar station, profiled parts classifier, roll-forming, intensive roll-forming

При разработке новых образцов военной и гражданской техники, в частности, радиолокационных станций (РЛС), используют значительную номенклатуру профильных деталей различной конфигурации, преимущественно с элементами жёсткости (ЭЖ) [1]. На рис. 1 показаны антенны различных РЛС, в которые входит значительное число профильных элементов. Кроме того, существует большая номенклатура деталей из профилированных заготовок, входящая в состав аппаратных средств боевых машин, несущих элементов антенны, а также в состав предназначенных для их обслуживания машин технического обслуживания и ремонта.

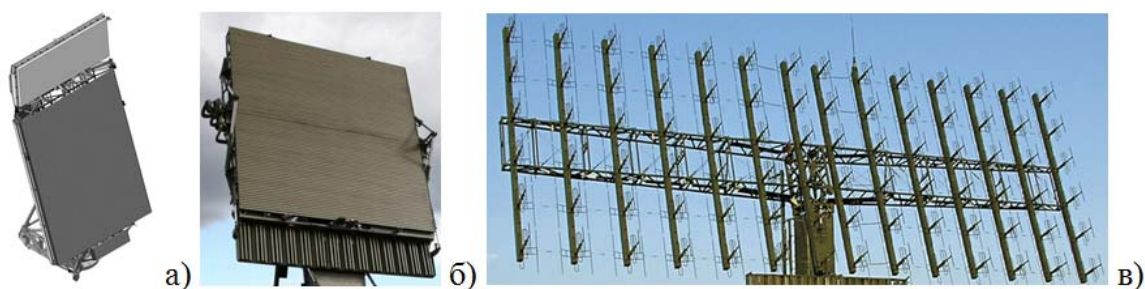


Рис. 1. Антенные системы различных РЛС: а, б – антенны РЛС миллиметрового диапазона; в – антенна дециметрового диапазона

На рис. 2 показан классификатор профильных деталей в составе типовой радиолокационной станции. Эти детали имеют различные размеры поперечного сечения и различную конфигурацию. Несущие профили кузова-фургона обычно представляются профилями С-образного сечения, ограждающие элементы – обычно трубчатые или С-образные, а обрамления дверей имеют достаточно сложную форму с утайками под уплотнения для противоатомной защиты. Элементы контейнеров и стендов представляются многоэлементными профилями с различными элементами жёсткости: отбортовками, дугowymi элементами, элементами двойной толщины, рифтами и т.п. Панели обычно включают кольцевые отбортовки или элементы двойной или тройной толщины. Стойки, подкосы и лонжероны представляются трубчатыми или специальными профилями, линейки – швеллерами. Рейки и элементы жёсткости обычно являются профилями различной формы небольшой высоты, преимущественно коробчатого типа. Лотки для прокладки кабелей выполняют в виде двух ответных профилей с концевыми элементами жёсткости, служащих для их автоскрепления. Обрамление узлов и блоков и элементы шкафов могут быть в виде перфорированных панелей, уголковых профилей с подсечками или специальных профилей. Участки волноводов и воздухопроводы могут выполняться в виде коробчатых профилей, замкнутых фальцем.



Рис. 2. Профильные детали и элементы в составе РЛС

Эти детали и профили можно разделить по конфигурациям общего типа применительно к их производству на профилегибочных станках на уголкового (с различными типами элементов жёсткости), коробчатые (швеллеры различного вида, корытные профили, С-образные профили, прямоугольные, овальные или круглые трубы, замкнутые и полузамкнутые профили с одинарными или комбинированными элементами жёсткости), зетовые профили с ЭЖ и специальные профили (типа Н- и h-образных профилей с элементами двойной толщины (ЭДТ) и замковыми элементами), которые не укладываются в рамки типовой номенклатуры гнутых профилей [2]. При формовке профилей несимметричного сечения возникают проблемы потери устойчивости периферийных элементов (если они не подкреплены элементами жёсткости), скрутки профиля, нарушения покрытия, различия остаточных деформаций и напряжений по сечению профиля и другие [3].

Методы, применяемые для изготовления гнутых профилей в роликах, можно условно разделить на традиционное профилирование (ТП) [4], интенсивное деформирование (МИД) [5] и стеснённый изгиб (СИ) [6]. Метод

ТП используется преимущественно для серийного производства с применением многоклетевых станков и валков диаметром более 250 мм. В средне- и мелкосерийном производстве более эффективным является МИД ввиду малого числа переходов, компактности и невысокой стоимости оборудования. Стеснённый изгиб позволяет изготавливать профили только открытого сечения и небольшой высоты и используется преимущественно в авиастроении [6]. Характеристики указанных методов приведены ниже в таблице [3].

Рассматриваемые методы отличаются схемами формообразования и характеристиками напряжённо-деформированного состояния: в ТП продольная деформация подгибаемых полок находится на границе упруго – пластической области, а в СИ деформация полок обычно пластическая. В МИД продольная деформация полок при прохождении через валки очередной клетки меняет знак с деформации растяжения на деформацию сжатия с образованием «пластического шарнира», характерного также для СИ.

Характеристики методов изготовления гнутых профилей в роликах

Показатель	ТП	СИ	МИД
Режим формовки радиуса изгиба	Плавный по переходам	На последних переходах	Постоянный по переходам
Углы подгибки за переход, град.	8...12	10...40	10...40
Приложение дополнительных сил	–	Осадка заготовки	Торцовое поджатие
Избыток ширины заготовки Δ	$\Delta \leq 0$	$\Delta \geq 0$	$\Delta \approx 0$
Число переходов	N	$(0,4...0,7) \cdot N$	$(0,5...0,8) \cdot N$
Скорость профилирования, м/мин	12...60 (до 180)	2...15	6...30
Тип калибра окончательного перехода	Открытый	Закрытый	Закрытый
Форма калибра предварительных переходов	Открытая – прямолинейные участки с угловым сопряжением	Волнообразная, закрытая	Закрытая, номинальный калибр
Диаметр роликов	D	$(0,5...0,7) \cdot D$	$(0,4...0,7) \cdot D^{**}$
Правильное устройство	Не обязательно	Обязательно	Обязательно

Анализ номенклатуры профилей для РЛС в привязке к существующим методам изготовления профилей позволяет определить в качестве

приемлемого метода производства профилей указанной номенклатуры методом интенсивного деформирования. К настоящему времени для его реализации решены практически все вопросы технологического порядка, разработаны десятки видов различного оборудования для комплектования автоматизированных линий [5] и речь идёт только об организационных мерах и дальнейшей автоматизации линий с их увязкой в единую АСУ ТП.

Библиографический список

1. Филимонов С.В., Филимонов В.И. Интенсивное формообразование гнутых профилей. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 444 с.
2. Марковцев В.А., Филимонов В.И. Формообразование стесненным изгибом в роликах и правка гнутых тонкостенных профилей. Ульяновск: УлГТУ, 2006. 244 с.
3. Марковцева В.В. Совершенствование технологии производства гнутых профилей из листовых металлических заготовок с различными видами покрытий для авиационной и других отраслей промышленности: дис. канд. техн. наук: 05.02.09 и 05.07.02. Самара: СГАУ, 2019. – 170 с.
4. Halmos G.T., Roll Forming Handbook. – Boca Raton: CRC Press, 2005. – 583 p.
5. Формообразование в роликах профилегибочных станков тонкостенных многоэлементных гнутых профилей с элементами жёсткости: дис. д-ра техн. наук : 05.02.09. – Самара: СГАУ, 2017. – 475 с.
6. Марковцев В.А., Марковцева В.В., Филимонов В.И. Производство гнутых профилей для авиационных конструкций. Ульяновск: УлГТУ, 2016. 438 с.

УДК 621.981

О СХЕМАХ ФОРМОВКИ ЗЕТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ С ШИРОКОЙ СТЕНКОЙ

Гульшин В.А.¹, Марковцева В.В.¹, Филимонов С.В.³, Филимонов В.И.⁴

1 – к.т.н., доц. нач. Центра подготовки специалистов АО «Ульяновский механический завод», г. Ульяновск;

2 – к.т.н, с.н.с. АО «Ульяновский НИАТ», г. Ульяновск;

3 – д.т.н.нач. отдела АО «Аэрокомпозит», г. Ульяновск;

4 – д.т.н., проф., ВНС АО «Ульяновский НИАТ», г. Ульяновск.

Аннотация. Указаны проблемы, возникающие при формовке методом традиционного профилирования зетовых профилей с широкой стенкой. Рассмотрены схемы формовки таких профилей с использованием метода интенсивного деформирования и стеснённого изгиба. Указаны отличия в подходах и конкретных процедурах разработки и реализации технологий по трём указанным методам изготовления гнутых зетовых профилей.

Ключевые слова: профилирование, метод интенсивного деформирования, стеснённый изгиб, зетовый профиль, стенка профиля, схема формовки, формирующие валки, радиус изгиба.

ON FORMING PATTERN FOR ZEE-TYPE PROFILES WITH LARGE WALLS

Gulshin V.A.¹, Markovtseva V.V.¹, Filimonov S.V.³, Filimonov V.I.⁴

1 – head of Training Center in «Ulyanovsk Mechanical Plant», JSC, c.t.s., assist. prof.;

2 – senior researcher of «Ulyanovsky NIAT», JSC, c.t.s.;

3 – head of department in «Aerocomposite», JSC, d.t.s.;

4 – leading researcher of «Ulyanovsky NIAT», JSC, d.t.s., prof.

Abstract. There are highlighted some problems arising in traditional roll-forming applied to the manufacturing of zee-type profiles with large walls. The forming patterns of such profiles specific to intensive roll-forming and straitened bending are also considered. The distinctions in approaches and specific procedures related to the three indicated methods of manufacturing zee-type profiles are given.

Keywords: roll-forming, intensive roll-forming, straitened bending, zee-type profile, profile wall, forming pattern, forming rolls, bending radius.

Трудности разработки технологии производства зетовых профилей с широкой стенкой сопряжены с отсутствием симметрии их сечения и наличием широкой стенки. При формовке таких профилей возникают проблемы потери устойчивости периферийных элементов (если они не подкреплены элементами жёсткости), скрутки профиля, нарушения покрытия на стенке, различия остаточных деформаций и напряжений по сечению профиля [1].

Зетовые профили из оцинкованных сталей находят широкое применение в транспортном машиностроении (элементы кузовов и шасси автомобилей), в дорожном и гражданском строительстве (стойки и слёги ограждений, стропила, фахверки, мансарды) [2], а профили из

плакированных алюминиевых сплавов – в авиастроении (стрингеры планера летательного аппарата) [3]. Различное назначение профилей, различие в используемых материалах диктуют различные требования к реализации технологического процесса и качеству получаемых профилей. Указанные условия накладывают вполне определённые ограничения на схемы формообразования таких профилей с учётом их специфических конфигураций, в частности, если для производства профилей из стальной ленты широко применяют традиционное профилирование (ТП) [4] и метод интенсивного деформирования (МИД) [5], то для производства авиационных профилей – стеснённый изгиб (СИ) [6].

Основными проблемами в ТП при формообразовании зетовых профилей, являются продольная кривизна и скрутка, завышенное число переходов и низкое качество [5, 6]. Технические решения существующих изобретений предусматривают оптимизацию расположения сечения в роликовом калибре и распределения углов подгибки по переходам. Для уменьшения винтообразного скручивания в способе [7] полки подгибают до достижения каждой полкой угла, равного сумме меньшего угла подгибки и полуразности между заданными углами подгибки обеих полок. Затем производят подгибку одной полки и разгибку другой, располагая центры тяжести сечения профиля по переходам в одной плоскости (рис. 1, а). Изготовленный по этому способу кондиционный профиль $130 \times 80 \times 80 \times 4$ мм с углами подгибки полок 60° из стали 09Г2 формуется за 9 переходов, что на 2 – 3 перехода превышает число переходов, необходимое для формовки того же профиля МИД.

В способе [8] предупреждение винтообразного скручивания достигается первоначальной подгибой отбортовки на $45 - 60^\circ$ и формовкой ЭДТ с последующей формовкой несущей полки и окончательной формовкой отбортовки (рис. 1, б). В последних переходах вершины крайних углов располагают на одном уровне. Способ реализуется за 15 переходов со скоростью профилирования 30 м/мин. Недостаток способа состоит в возрастании скрутки с увеличением ширины полок.

Аналогичная задача решается в способе [9], где на первых переходах одновременно формуют ЭДТ и отбортовку, а на последних переходах – обе полки, причём, угол подгибки полки с ЭДТ принимают равным углу подгибки стенки и другой полки, прилегающей к отбортовке (рис. 1, в).

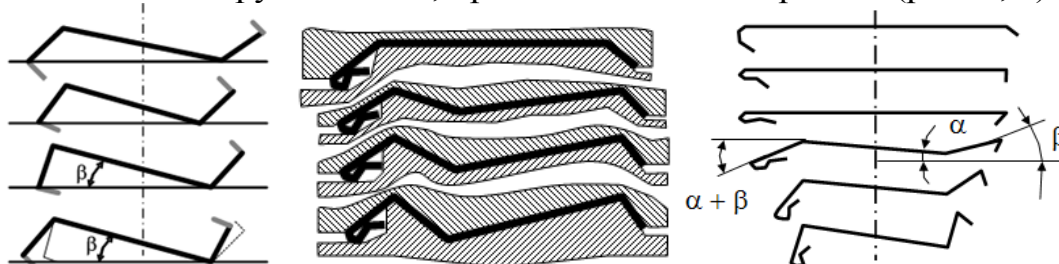


Рис 1. Схемы формообразования зетовых профилей: а) по способу [7]; б) по способу [8] (средние переходы); в) по способу [9]

Уменьшение скрутки и депланаций полок в способе [10] достигается предварительной формовкой ЭДТ и центрального рифта с подгибкой полки антискручивающими силами с фиксацией профиля в валках по рифту. На последних переходах выполняют его правку поворотом в сторону, обратную скручиванию, с аксиальным растяжением (рис. 2,а). Здесь профиль 94×0,6 мм формуется за 18 переходов со скоростью 30 м/мин. Скрутка не превышала 1°/м; неплоскостность полок была менее 1,5 мм на длине 1205 мм. Здесь число переходов явно завышено: в МИД оно могло бы составлять 10 – 12 переходов.

В способе [11] сокращение числа технологических переходов достигается выдерживанием вершин крайних углов профиля на одном уровне при подгибке полки с элементом двойной толщины относительно горизонтали на угол, равный сумме углов подгибки стенки и другой полки, прилегающей к отбортовке (рис. 2,б).

Уменьшение высоты формовки и повышение качества в способе [12] достигается тем, что в одном из переходов стенке профиля придают волнистую форму, а по достижению угла 5° – 16° между полками и горизонтальной линией стенку выпрямляют и полки отгибают до заданного угла. При этом зона сгиба одной полки и торец другой находятся на одной горизонтальной линии во всех переходах (рис. 2,в). Профиль 120×60×4 мм формуют за 8 переходов при скрутке, не превышающей 0,7 °/м. Эта схема несколько напоминает схему СИ.

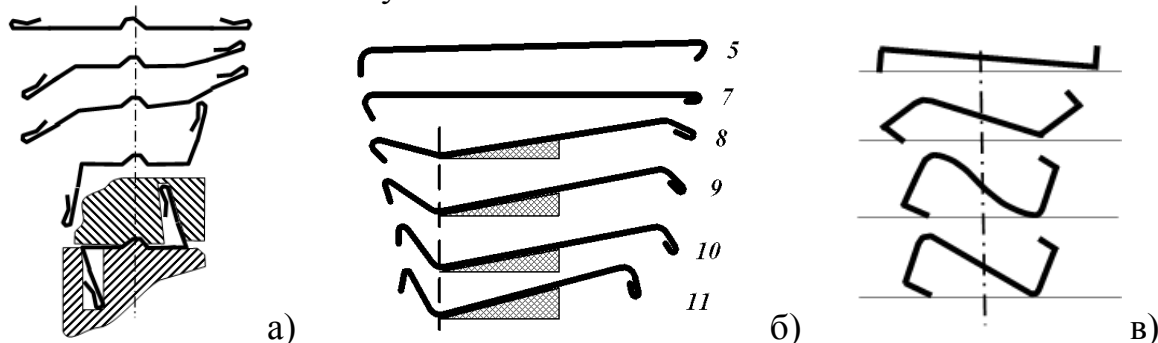


Рис. 2. Схемы формовки зетового профиля с удержанием элементов на одном уровне: а) по способу [10]; б) по способу [11] (цифры – номера переходов); в) по способу [12]

Способ изготовления зетовых профилей [13] на станах АО «Магнитогорский металлургический комбинат» улучшает геометрию профиля и сокращает число проходов за счёт сохранения кромок полок на уровне формовки во всех проходах при неизменном положении точки пересечения средней линии стенки с этим уровнем. Выход профилей по этому способу: высокой точности – 42-67%, повышенной точности – 28-50% (остальное – обычной точности).

Рассмотренные способы формовки зетовых профилей в ТП были частично использованы для разработки схем формообразования в МИД (рис. 3) для производства профилей из оцинкованной стали толщиной (1...2) мм.

Приведенные схемы показывают, что при небольшой ширине полок, примыкающих к стенке (рис. 3,а), базовым элементом может являться стенка, которая располагается параллельно осям формующих валков. В двух других случаях (рис. 3,а и 3,б) базовый элемент представляет собой материальную точку заготовки и совпадает с осью профилирования.

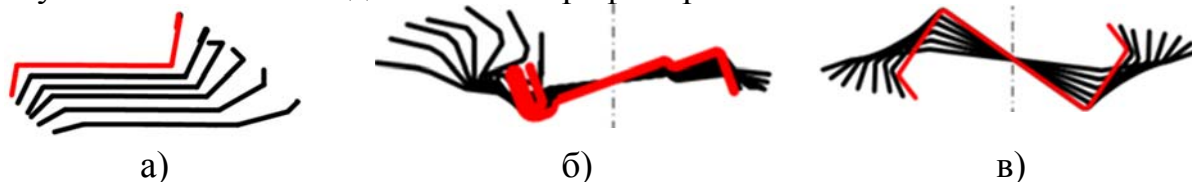


Рис. 3. Схемы формообразования зетовых профилей в МИД:
локализация базовых элементов и оси профилирования

На рис. 4 в качестве примера показано расположение профиля рис. 3,в в формующих валках профилегибочного станка.



Рис. 4. Расположение профиля в валках: на шестом переходе валки выполнены сборными для доступа инструмента в будущие зоны формовки отбортовок

Для профилей рис. 3 была отработана технология и осуществлена её поставка вместе с технологическим оборудованием заказчикам. Качество профильной продукции, изготовленной по указанным технологиям, соответствовало нормативным требованиям и спецификациям заказчиков [5].

Схемы формообразования МИД обладают некоторой преимуществом по отношению к схемам традиционного профилирования. Так, схема рис. 3,а соответствует схеме формовки рис. 1,б и 1,в для первых переходов, однако наличие сложных периферийных элементов жесткости в последних вызвало необходимость наклона стенки во избежание поднутрения при их формовке. Горизонтальное расположение стенки на рис. 2,а делает эту схему почти идентичной схеме рис. 3,а, причём, наличие рифта на стенке не играет существенной роли для выбора оси профилирования, если существует возможность ограничения поперечного движения (планирования заготовки) за счёт применяемых калибров. Это условие легко выполняется при использовании МИД, поскольку формовка осуществляется в закрытых калибрах.

Схема формовки рис. 3,в в известной степени соответствует схеме рис. 1,а и рис. 2,б, однако в последнем случае в качестве базового элемента принята одна из зон изгиба, а на рис. 3,а базовым элементом служит центральная точка стенки профиля, совпадающая с проекцией оси профилирования. Ещё большее соответствие наблюдается у схем 2,в и 3,в в отношении расположения левой кромки и зоны изгиба между правой полкой и стенкой, однако изгиб стенки с последующим выпрямлением приводит

обычно к остаточной поперечной кривизне, что существенно зависит от колебаний в ширине заготовки. Выпрямление стенки до уровня плоской поверхности всё же требует задания обратной кривизны на валках, что осложняет исполнение инструмента и делает процесс формообразования менее стабильным, чем в случае с плоской стенкой.

Отметим особенности МИД по отношению к методу стеснённого изгиба [5], связанные с изменением радиуса изгиба угловых зон по переходам и расположением оси профилирования. Если в МИД конечные значения радиуса изгиба закладываются с первого перехода и остаются неизменными до последнего перехода включительно, то в СИ радиусы изменяются плавно по переходам. Базовый элемент (обычно горизонтальный участок профиля) и ось профилирования в МИД обычно увязываются с катающими поверхностями формующих валков, в то время как в СИ базовый элемент (обычно вертикальный участок профиля) и ось профилирования являются более лабильными понятиями. Схема формообразования одного из авиационных профилей (стрингера) приведена на рис. 5,а, показывающем вертикальное расположение стенки, средний прямолинейный участок которого может представлять из себя базовый элемент. Для случая перегиба по стенке базовый элемент стягивается в физическую (материальную) точку. При этом ось профилирования ориентируется только по отношению к осям валков и боковым поверхностям подшипниковых узлов. Это особенно характерно для случая, когда будущая стенка профиля на заготовке изначально располагается горизонтально, а затем постепенно переходит в вертикальное положение [14].

При формовке профиля СИ на предварительных переходах волнообразная заготовка имеет большие радиусы кривизны, которые плавно изменяются по мере формовки профиля. Для схемы рис. 5 (стрингер самолёта МС-21) радиусы изгиба изменяются по переходам 1 – 6 следующим образом: 15; 10,5; 8; 6; 4; 2 мм соответственно. Прямолинейные участки получают в окончательном переходе за счет осадки заготовки в замкнутом калибре. При этом происходит перераспределение деформаций, которые существенно влияют на устойчивость деформирования, которая обычно обеспечивается выбором параметров в результате моделирования процесса в среде ANSYS, Ls-dyna (рис. 5,б), и размер зерна. Для авиационных профилей последний показатель очень важен, поскольку он определяет ресурс летательного аппарата [14].

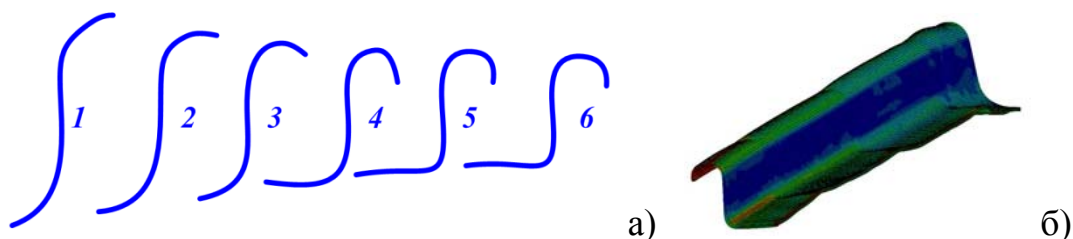


Рис. 5. Типовая схема формообразования СИ для авиационных профилей (а) и подверженность полки кромковой волнистости (по результатам моделирования процесса в LS-dyna) (б)

При создании технологии производства стрингеров для самолёта МС-21 проведены исследования двух режимов их изготовления: в отожжённом и свежезакалённом состоянии. При формообразовании профиля из отожжённой заготовки с последующей закалкой в угловых зонах профилей, на периферии наблюдаются участки с укрупненным зерном ($d_{\text{ср}}$ до 100 мкм), а в срединной части профиля сохраняется исходное мелкое зерно ($d_{\text{ср}}$ до 40 мкм). При формообразовании профиля из свежезакалённой заготовки, микроструктура профиля более однородная со слабыми линиями скольжения у внутреннего контура. Рост зерна происходит в зонах с критической деформацией в 8–10%. Механические испытания профилей показали их хорошее соответствие нормативной документации (для сплава В950.ч.-АТ2): предел прочности и предел текучести составили в среднем около 500 и 450 МПа соответственно, а относительное удлинение – около 14% (при нормативном показателе не менее 8%) [15].

Малоцикловая усталость образцов (полученных по двум режимам изготовления) длиной 300 мм с двумя отверстиями $\varnothing 5$ мм и расстоянием между ними в 50 мм при нагружении в 157 МПа составила около 35 тыс. циклов без разрушения. Общая коррозионная стойкость изготовленных по двум вариантам плакированных профилей длиной 200 мм (в ГЦКИ, г. Геленжик и ВИАМ, г. Москва) оказалась удовлетворительной: в течение года на профилях коррозионных поражений не обнаружено [15].

Таким образом, выявлены особенности схем формовки зетовых профилей с широкой стенкой, характерных для различных методов профилирования: традиционного профилирования, метода интенсивного деформирования и стеснённого изгиба. Указанное различие в подходах к разработке технологии следует учитывать на практике.

Библиографический список

1. Марковцев В.А., Филимонов В.И., Илюшкин М.В., Баранов А.С., Волков А.А. Формообразование несимметричных профилей на профилировочных станках //Технология металлов. 2011. №3. С. 8–12.
2. Филимонов С.В., Филимонов В.И. Интенсивное формообразование гнутых профилей. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 444 с.
3. Марковцев В.А., Филимонов В.И. Формообразование стесненным изгибом в роликах и правка гнутых тонкостенных профилей. Ульяновск: УлГТУ. 2006. 244 с.
4. Halmos G.T., Roll Forming Handbook. – Boca Raton: CRC Press, 2005. – 583 p.
5. Формообразование в роликах профилегибочных станков тонкостенных многоэлементных гнутых профилей с элементами жёсткости: дис. д-ра техн. наук : 05.02.09. – Самара: СГАУ, 2017. – 475 с.
6. Марковцев В.А., Марковцева В.В., Филимонов В.И. Производство гнутых профилей для авиационных конструкций. Ульяновск: УлГТУ, 2016. 438 с.

7. А.с. 1519812 СССР, МПК⁶ В 21 D 5/06. Способ изготовления гнутых зетовых профилей проката: / М. Е. Докторов, С. В. Мирошниченко, С. А. Батурин, С. А. Чиж; опубл. 07.11.1989. Бюл. № 41.
8. А.с. 1118448 СССР, МПК⁷ В 21 D 5/06. Способ изготовления гнутых Z – образных профилей: / А. И. Гулько В. Ф. Светличный А. Ф. Земцов и др.; опубл. 15.10.1984. Бюл. № 38.
9. А.с. 1148667 СССР, МПК⁷ В 21 D 5/06. Способ изготовления гнутых зетобразных профилей: / А. И. Гулько, В. Ф. Светличный, А. К. Антонюк и др.; опубл. 07.04.1985. Бюл. № 12.
10. А.с. 1480919 СССР, МПК⁷ В 21 D 5/06. Способ изготовления полузамкнутых Z – образных профилей: / В. Н. Николаев, А. И. Гулько, В. Ф. Светличный и др.; опубл. 23.05.1989. Бюл. № 19.
11. Патент РФ № 1148667. МКП7, В21D5/06. Способ изготовления гнутых Z-образных профилей / Гулько А.И., Светличный В.Ф., Антонюк А.К., Прокопенко М.Г., Антонов Ю.К., Николаев В.Н., Бегельфер А.Я. – Опубл. 07.04.1985.
12. А.с. 1547914 СССР, МПК⁷ В 21 D 5/06. Способ изготовления зетовых равнополочных профилей: / М. Е. Докторов, С. В. Мирошниченко, С. А. Батурин и др.; опубл. 07.03.1996. Бюл. № 9.
13. Патент РФ № 2056192. МКП7, В21D5/06. Способ изготовления гнутых зетовых профилей / Гридневский В.И.; Визгалов В.К.; Антипанов В.Г.; Афанасьев В.Ф. – Опубл. 20.03.1996.
14. Марковцева В.В. Совершенствование технологии производства гнутых профилей из листовых металлических заготовок с различными видами покрытий для авиационной и других отраслей промышленности: дис. канд. техн. наук: 05.02.09 и 05.07.02. Самара: СГАУ, 2019. – 170 с.
15. Марковцев В.А., Сенаторова О.Г., Илюшкин М.В., Филимонов В.И., Баранов А.С. Гнутые листовые профили из перспективных алюминиевых сплавов в конструкциях летательных аппаратов / Формообразование гнутых профилей: теория и практика. (2013 год). Сборник научных трудов / Под научной редакцией д.т.н., профессора В.И. Филимонова. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2014. – 155 с. – С. 117 – 124.

УДК 621.9.025

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА С ИЗНОСОСТОЙКИМ ПОКРЫТИЕМ НА ФОРМОИЗМЕНЯЮЩИХ ОПЕРАЦИЯХ

Морозов О.И.¹, Журавлев А.С.²

1 – старший преподаватель кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением» ФГБОУ ВО УлГТУ, г. Ульяновск.

2 – студент 4 курса обучения (бакалавриат) кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением» ФГБОУ ВО УлГТУ, г. Ульяновск.

Аннотация. Были проведены испытания штампового инструмента с износостойким покрытием нитрид титана. В процессе испытаний было выявлено, что инструмент с износостойким покрытием, нанесенным методами ионно-плазменного напыления, на операциях вытяжки с утонением показывает повышенную ресурсоемкость и износостойкость.

Ключевые слова: штамп, покрытие, износостойкость, нитрид титана, ионно-плазменное напыление.

INCREASING THE STABILITY OF A STAMPING TOOL WITH A WEAR-RESISTANT COATING FOR FORMING OPERATIONS

Morozov O.I.¹, Zhuravlev A.S.²

1 - Senior Lecturer, Department of Material Science and Metal Processing, FSBEI HE UISTU;

2 - 4-year student (bachelor's degree) of the Department of Material Science and Metal Processing by Pressure FSBEI HE UISTU.

Annotation. Tests of a die tool with a wear-resistant coating of titanium nitride were conducted. In the process of testing, it was revealed that the tool with a wear-resistant coating applied by ion-plasma spraying methods, during drawing operations with thinning, shows increased resource consumption and wear resistance.

Key words: stamp, coating, wear resistance, titanium nitride, ion-plasma spraying.

В настоящее время методы поверхностной модификации с использованием износостойких покрытий реализованы лишь в технологии повышения стойкости режущего инструмента (резцы, сверла и др.) и на данный момент не имеют широкого применения для повышения стойкости пуансонов и матриц в процессах обработки металлов давлением, где необходимо производить комплексную модификацию системы «подложка-покрытие».

Рабочий инструмент штампов (пуансоны и матрицы) работает в тяжелых условиях нагружения: наличие ударных, знакопеременных нагрузок; наличие особенностей сил трения между обрабатываемым материалом и инструментом и температурных режимов обработки. В Ульяновском государственном техническом университете (УлГТУ) в настоящий момент проводятся исследования технологии повышения стойкости штампового инструмента с использованием износостойких покрытий на основе титана[1-4].

В данной работе рассмотрены результаты производственных испытаний штампового инструмента для формоизменяющих операций (вытяжка и обжим дульца) с покрытием нитрид титана при изготовлении деталей типа «Гильза» номенклатуры АО «Ульяновский патронный завод».

Сотрудниками кафедр «Материаловедение и обработка металлов давлением» и «Инновационные технологии в машиностроении» совместно с предприятием АО «Ульяновский патронный завод» с целью определения эффективности использования износостойких покрытий для увеличения ресурса штампового инструмента на формоизменяющих операциях (вытяжка с утонением и обжим дульца) была проведена серия испытаний штампового инструмента с износостойким покрытием TiN. Испытания проводились на роторных линиях для изготовления патронов на предприятии АО «Ульяновский патронный завод».

Для испытаний использовались следующие комплекты инструмента:

- 1) Твердосплавные матрицы (ВК-8) и пуансоны из инструментальной стали У10А для вытяжки с утонением (2 переход) на диаметр 10 мм;
- 2) Калибровочные втулки из быстрорежущей стали Р6М5 для операции обжим дульца на диаметр 6 мм (линия ЛГ-407).

Испытания проводились следующим образом:

- 1) был произведен отбор и предварительная подготовка рабочих поверхностей инструмента – шлифование и полировка до 8 класса точности;
- 2) на 3 комплекта инструмента (пуансон+матрица – для вытяжки с утонением, калибровочная втулка – для операции обжим дульца) методом ионно-плазменного напыления на установке «Булат» в лаборатории износостойких покрытий машиностроительного факультета УлГТУ было нанесено износостойкое покрытие нитрид титана (режимы нанесения покрытий – 450 градусов Цельсия, толщина покрытия – 3-5 мкм);
- 3) после проведения упрочняющей обработки инструмент был установлен вместе со стандартными необработанными комплектами в роторные линии (названия установок) и запущен в производственный цикл;
- 4) в ходе испытаний рабочие фиксировали момент выхода инструмента из строя по счетчику произведенных операций (вытяжки и калибровки соответственно) и причину выхода инструмента из строя;
- 5) после выхода всех комплектов инструмента, установленных в линию, линия останавливалась и производился анализ полученных результатов.

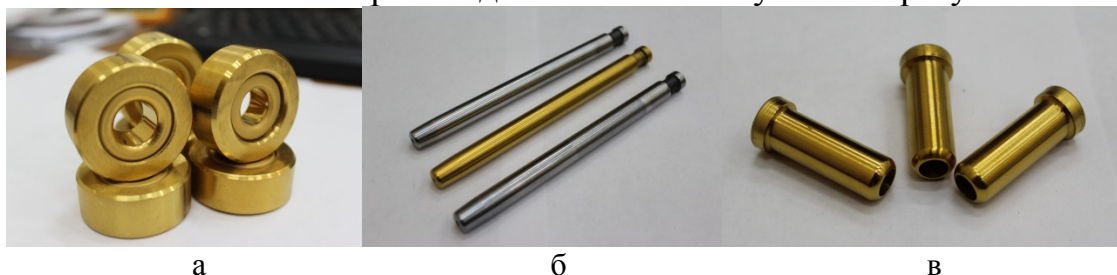


Рис. 1. Образцы штампового инструмента с покрытием:

а – матрицы для вытяжки; б – пуансоны для вытяжки; в – втулки для операции обжим дульца

В ходе испытаний были получены следующие результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Результаты производственных испытаний
штампового инструмента

Опера ция	№ п\ п	Материал инструмент а	Покры тие	Норма выработ ки, тыс. ударов	Общая вырабо тка, тыс. ударов	Причины замены инструме нта	Примеча ние
Вытяж ка (2 перехо д)	1	Пуансон – инструмен- тальная сталь У10А; Матрицы (верхняя и нижняя) – твердый сплав	TiN	50-100	249	Заклинива ние инструме нта*	*в следстви е дефекта на 1-м переходе вытяжки
	2		б\п		534		
	3		TiN		679	Дефекты на поверхнос ти получаем ых деталей – царапины, риски	
	4		б\п		694		
	5		TiN		986		
	6		б\п		709		
Обжим дульца	1	Втулка – быстрореж ущая сталь Р6М5 (заменител ь – У12А)	TiN	50	82	Дефекты на поверхнос ти получаем ых деталей	
	2				82		
	3		б\п		111		
	4				145		
	5				180		
	6				196		
	7				213		
	8				117		

Как видно из таблицы 1, для разных групп инструмента были получены следующие результаты:

1) Для операции обжим дульца как обработанный, так и не обработанный инструмент показывает значения наработки, превышающие установленную норму. Однако для инструмента с покрытием повышение стойкости и ресурса инструмента по сравнению с не обработанным не наблюдается. Этот эффект может быть объяснен следующим образом – в данном процессе реализуется схема нагружения с повышенными значениями сил контактного трения, вследствие чего на поверхностном слое возникают высокие значения напряжений, приводящие к разрушению покрытия.

2) Для операции вытяжка (2 переход) наблюдаются следующие результаты: 1 и 2 блок вышли из строя по независящим от наличия покрытий условиям – из-за дефекта заготовки на 1 переходе вытяжки произошло заклинивание инструмента, однако он показал стойкость, превышающую норму выработки; 3 (TiN) и 4 (б\п) блоки продемонстрировали приблизительно равную стойкость, в 5-6 раз превышающую норму выработки, предусмотриваемую нормативными документами; инструмент с покрытием на 5 блоке проработал на 29% дольше, чем самый стойкий инструмент без покрытия (6 блок).

В заключении можно сделать следующие выводы:

1) Использование износостойких покрытий, наносимых методом ионно-плазменного напыления, для повышения ресурса штампов на формоизменяющих операциях, имеет определенные ограничения по материалам, габаритным размерам и интенсивности режимов работы. При высоких значениях сил трения использование износостойких покрытий является нецелесообразным, поскольку не увеличивает достаточно ресурс работы штампа. Так же необходимо уделять внимание предварительной обработке поверхности инструмента перед нанесением покрытий.

2) Использование износостойких покрытий, наносимых методами ионно-плазменного напыления, на инструмент для формоизменяющих операций листовой штамповки может повысить ресурс штамповой оснастки на 30% по сравнению с необработанным инструментом.

Библиографический список

1. Физическая модель структурирования в процессах комплексного модифицирования поверхностного слоя рабочих частей штампов и пресс-форм, Морозов О.И., Мишов Н.В., Шиллер Н.П., Бузыцкий А.М.// XXX Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2018) Сборник трудов конференции. 2019. С. 39-41.

2. Повышение стойкости рабочих поверхностей штампового инструмента с покрытием и моделирование ндс процесса предварительной механической активации поверхностного слоя рабочих деталей штампа, Морозов О.И., Табаков В.П., Кокорин В.Н., Журавлев А.С. // Металлургия: технологии, инновации, качество Труды XXI Международной научно-практической

конференции. В 2-х частях. Под редакцией Е.В. Протопопова. 2019. С. 368-374.

3. Моделирование процесса предварительной механической активации подложки композиции покрытие - металл и исследование напряженного и деформированного состояния рабочих поверхностей штампового инструмента, Табаков В.П., Кокорин В.Н., Морозов О.И., Алешин А.С., Аль К.М.Ф.Д., Сагитов Д.И., // Упрочняющие технологии и покрытия. 2019. Т. 15. № 11 (179). С. 523-528.

4. Повышение стойкости рабочих поверхностей деталей штампов при использовании комплексной модификации, Морозов О.И., Кокорин В.Н., Табаков В.П., Сагитов Д.И., Илюшкин М.В., Ширманов Н.А., // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 3. С. 317-326.

УДК 621.4

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛИ
ТИПА «ДНИЩЕ»****Халикова А.А.¹, Демьяненко Е.Г.²***1 – магистр 2 года каф. «Обработки металлов давлением» Самарский университет, г. Самара.**2 – к. т. н., доцент каф. «Обработки металлов давлением» Самарский университет, г. Самара.*

Аннотация. В статье представлены результаты проведенного исследования формообразования детали типа «днище» из сплавов АМг6 и 1570 с применением программного продукта LS-DYNA. Проведен сравнительный анализ поведения заготовки из разных сплавов.

Ключевые слова: многопереходная вытяжка, формообразование, гофрообразование.

**RESEARCH OF THE PROCESS OF FORMING DETAILS OF TYPE
"BOTTOM"****Khalikova A.A.¹, Demyanenko E.G.²***1 – 2th year master "Metal forming" Samara University, Samara.**2 – Associate professor "Metal forming" Samara University, Samara.*

Abstract. The article presents the results of a study of the formation of a part of the "bottom" type from AMg6 and 1570 alloys using the LS-DYNA software product. A comparative analysis of the behavior of the workpiece from different alloys is carried out.

Keywords: multi-junction hood, shaping, corrugation.

В аэрокосмической промышленности проблема изготовления крупногабаритных деталей с хорошими эксплуатационными характеристиками, в том числе с высокой прочностью, пластичностью остается чрезвычайно важной задачей. Поэтому растет потребность в материалах на основе алюминия, поскольку этот металл с низкой плотностью и легким весом позволяет получить изделия в соответствии с техническими требованиями.

Изготовление штампо-сварных деталей из листовой заготовки снижает вес изделия и трудоемкость механической обработки при их больших габаритах. Днища разной формы в рассматриваемой группе, работающие под высоким или низким давлением, производят штамповкой.

Для увеличения надежности днищ при их производстве стремятся выполнить следующие условия:

1. Как можно сократить количество сварных соединений путем изготовления более крупногабаритных элементов методами штамповки;
2. Заменить детали полученные литьем на цельноштампованные и штампосварные;

3. Получить отштампованные детали такой формы, которая позволяет расположить сварные швы в менее напряженных местах [1].

Проанализируем второй переход процесса многопереходной вытяжки для изготовления детали типа «днище». Прижим прижимает заготовку к калибровочной матрице с возможностью относительного радиального перемещения заготовки при её пластическом деформировании. Заготовка под воздействием пуансона втягивается в зазор между матрицей, калибровочной матрицей и пуансоном, впоследствии чего приобретает форму объёмной детали.

Основным материалом для изготовления подобных деталей являлся алюминиевый сплав системы Al-Mg - АМг6. С целью исследования влияния на процесс обработки металла давлением новых механических свойств выбранного материала заготовки было предложено использовать высокопрочный термически неупрочняемый алюминиевый сплав 1570, так как он в большей мере удовлетворяет требованиям авиационно-космической промышленности. Однако сплавы, легированные скандием, довольно дорогие, но моделирование процесса в программном продукте с заданием механических свойств материала позволяет провести предварительную оценку процесса без дополнительных затрат.

Построение геометрии оснастки и заготовки проводилось в CAD системе Unigraphics NX (см. рис. 1).

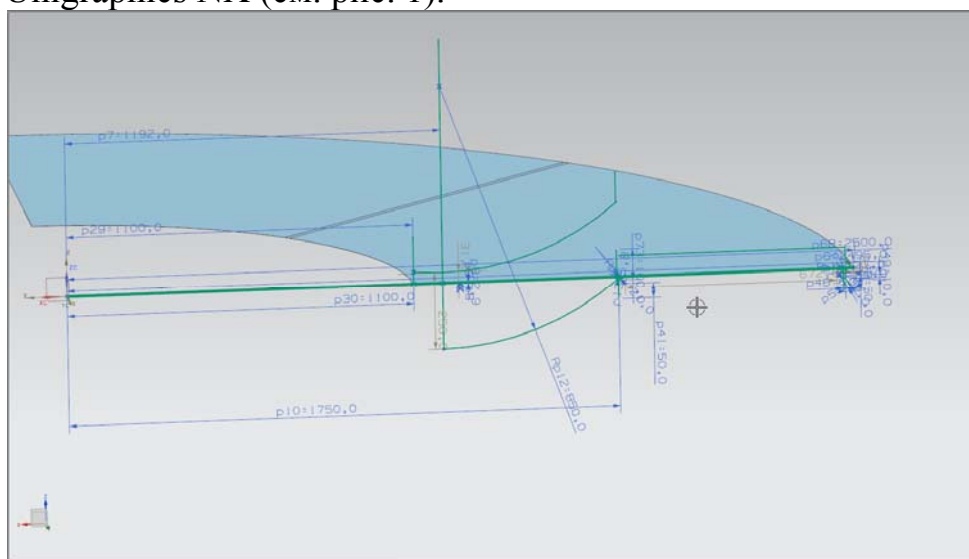


Рис. 1. Геометрия второго перехода процесса формообразования, выполненная в CAD системе UnigraphicsNX

Скорость перемещения инструмента – 1000 мм/с.

Заготовка имеет по диаметру сварной шов шириной 20 мм с показателями механических свойств на 10% ниже свойств основного материала (кроме предела текучести).

Для изучения напряженно-деформированного состояния смоделирован процесс вытяжки в конечно-элементном комплексе LS-DYNA (см. рис. 2). Важно установить отсутствие гофрообразования, так как возможно

проявление сжимающих напряжений детали при формообразовании. Использовалась функция адаптации – при изменении угла между элементами на 1^0 выполнялось перестроение сетки.

В работе программный продукт LS-PREPOST использован в качестве препроцессора, а так же в качестве постпроцессора для просмотра модели полученной после анализа операции, возможных дефектов, построения FLD-диаграмм, просмотра утонения материала и т.д.

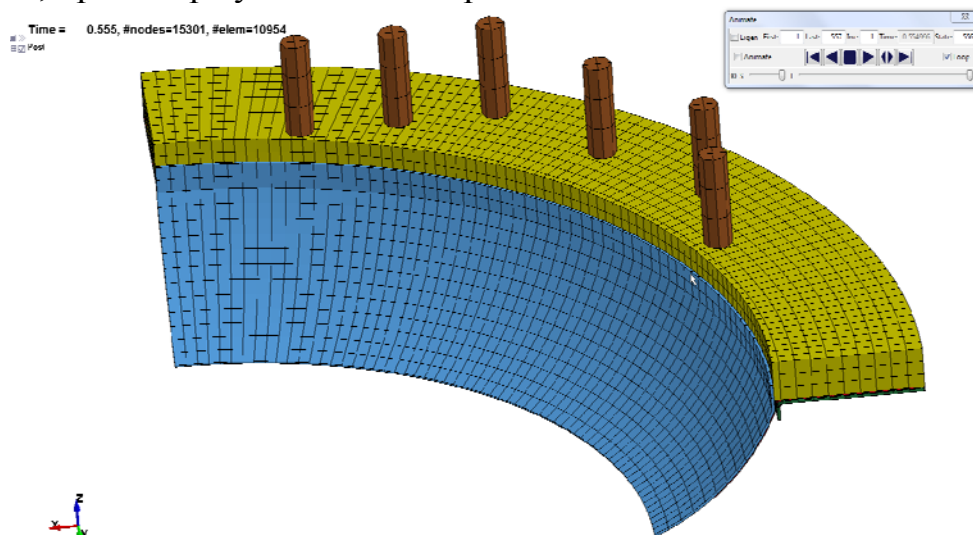


Рис. 2. – Конечно-элементная модель, построенная в САЕ системе LS-DYNA

По результатам моделирования можно сделать вывод: максимальное утолщение заготовки из сплава АМГ6 и 1570 на заключительной стадии процесса наблюдается в области фланца.

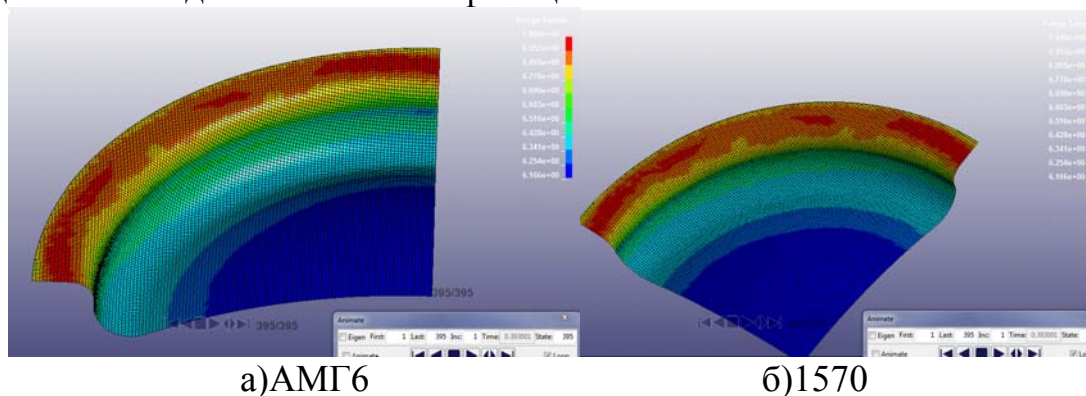


Рис. 3. Изменение толщины полуфабриката 2-го перехода, мм

Распределения интенсивности напряжений и деформаций процесса (см. рис. 4 и 5) таково, что напряжения и деформации сосредоточены в области перехода фланца в стенку.

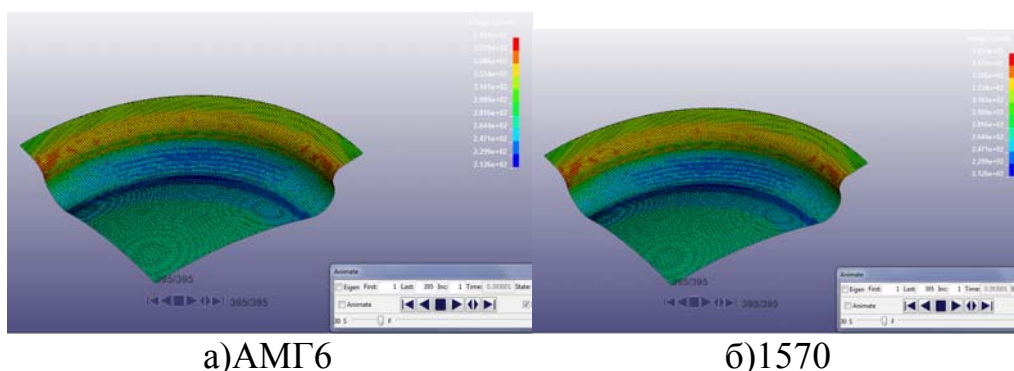


Рис. 4. Интенсивность напряжений на заключительной стадии 2-го перехода, МПа

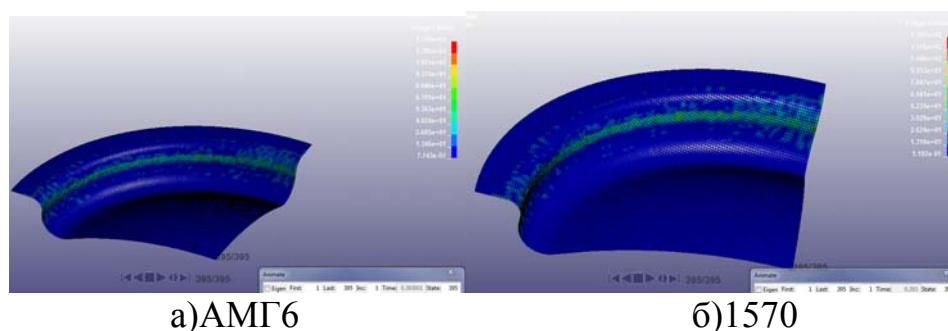


Рис. 5. Степень деформации на заключительной стадии 2-го перехода, %

Таблица 1 – Сравнительный анализ сплавов

Параметр	АМГ6		1570	
Толщина, мм	max	min	max	min
	7,04	6,162	7,051	6,167
Интенсивность напряжений, МПа	$1,967 \cdot 10^{-1}$		$1,944 \cdot 10^{-1}$	
Степень деформации, %	$1,339 \cdot 10^2$		$1,307 \cdot 10^2$	

При сравнении двух сплавов было установлено, что утоняется сильнее заготовка из сплава АМГ6, интенсивность напряжений и степень деформации больше у заготовки из сплава АМГ6. Гофрообразования на стенке детали не наблюдалось в обоих случаях.

Библиографический список

1. Мошнин, Е. Н. Технология штамповки крупногабаритных деталей. / «Машиностроение». – Москва, 1973. – 240 с.
2. Erisov Y., Surudin S., Grechnikov F. Hot deformation behavior of Al-Cu-Li-Mg-Zn-Zr-Sc alloy in as-cast and hot-rolled condition. / Materials Science Forum. – 2018. — P. 244-249.
3. Демьяненко Е.Г., Попов И.П., Гречников Ф.В. Разработка технологии получения алюминиевых сплавов высокой прочности и

электропроводности.: статья / Известия вузов. Цветная металлургия. – Москва, 2014. – 17-210 с.

4. Demyanenko E.G., Popov I.P. Study of Al-Cu-Mn and Al-Mg-Si alloys thin sheets weldability. / Key Engineering Materials. International Science and Technical Congress on Aerospace Materials Plastic Deformation Processes. – 2017 – P. 22-28.

УДК 621.981

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ДЕТАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПРУГОГО И ЖЕСТКОГО ПРИЖИМА

Щербов М.И.¹, Нестеренко Е.С.²*1 – магистр 1 года обучения (направление Металлургия 22.04.02), г. Самара;**2 – к.т.н., доцент кафедры обработки металлов давлением Самарского университета, г. Самара.*

Аннотация. В данной работе рассмотрен и исследован процесс вытяжки цилиндрической детали. Рассмотрен характер пластической деформации материала заготовки при вытяжке и произведен анализ напряженно-деформированного состояния. Целью работы является исследование влияния упругого и жесткого прижима в штампе на качество деталей и гофрообразование. Исследование проводилось с помощью моделирования процесса в программном продукте ANSYS/LS-DYNA.

Ключевые слова: листовая штамповка, вытяжка, деталь, моделирование, матрица, прижим, напряжения, гофрообразование.

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF DRAWING CYLINDRICAL PART USING AN ELASTIC AND RIGID CLAMP

Sherbov M.I.¹, Nesterenko E.S.²*1 - master's degree 1 year Samara University (direction training Metallurgy 22.04.02)**2 – Ph.D., assistant professor of the department of metal forming Samara University*

Abstract. The work presents the process of drawing a cylindrical part. The nature of the plastic deformation of the workpiece material during drawing is examined and the stress-strain state analysis is performed. The aim of the work is to study the effect of elastic and rigid clamp in the stamp on the quality of parts and corrugation. The study was conducted using process simulation in the ANSYS / LS-DYNA software product.

Keywords: sheet stamping, drawing, part, process simulation, matrix, clamp, stress, corrugation

Вытяжка происходит за счет пластической деформации, которая сопровождается смещением значительного объема металла в область широкого фланца. При большой степени деформации, соответствующей глубокой вытяжке, и при малой толщине материала, смещенный объем является причиной образования гофров (волн) на фланце деформированной заготовки [1].

В Самарском университете была поставлена задача, разработать такой штамп, который позволит улучшить качество поверхности для тонкостенных деталей, снизить гофрообразование фланца. Конструкция устройства должна быть проста в изготовлении.

Задача достигается за счет того, что в штампе для глубокой вытяжки осесимметричных деталей, содержащем соосно установленные пуансон, прижим и матрицу. При этом штамп содержит неподвижное опорное кольцо, а матрица и прижим выполнены в виде упругих металлических колец постоянной высоты [2].

Схема процесса вытяжки детали на штампе с упругими прижимом и матрицей приведена на рисунке 1, где 1-пуансон, 2-прижим, 3-матрица, 4-опорное кольцо, 5- упругое прижимное кольцо, 6- заготовка.

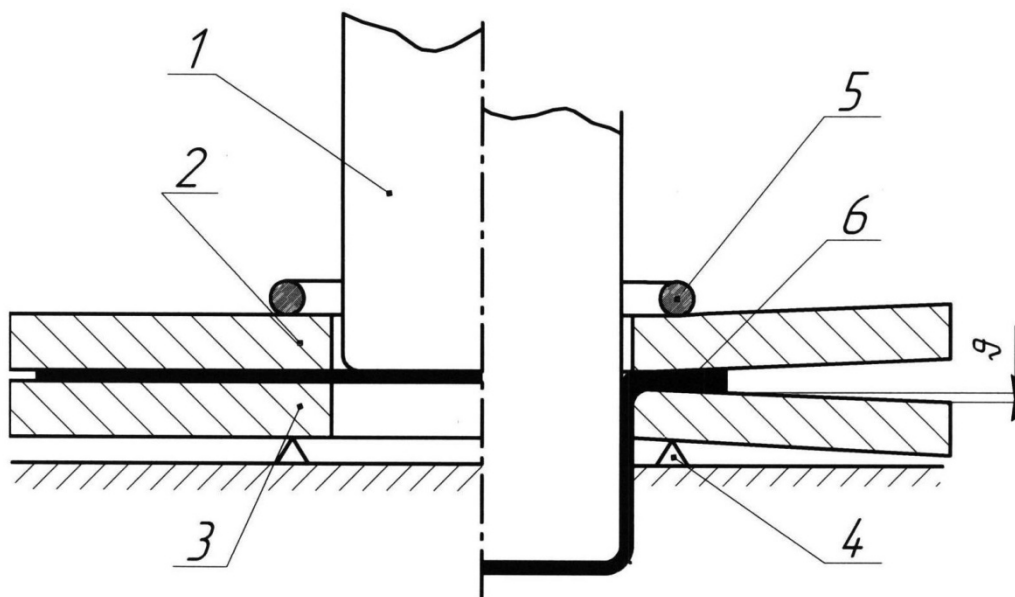
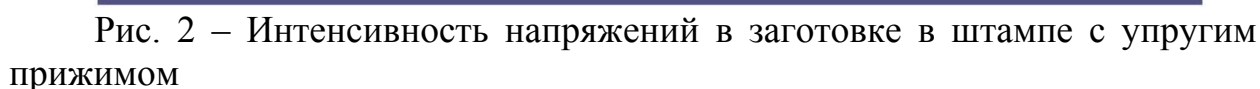


Рис. 1 – Схема вытяжки

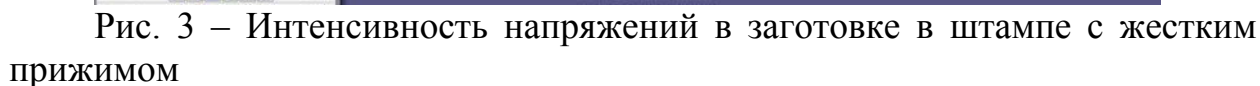
Проведем процесс моделирования для процесса вытяжки с упругим и жестким прижимами с помощью программного комплекса ANSYS/LS-DYNE [3,4].

Данная заготовка имеет физико-механические свойства сплава БрБ2. Контактное взаимодействие моделей формообразующих заготовок инструментов и листовой заготовки с учетом коэффициента трения 0,12. предел прочности 720 МПа, предел текучести 350 МПа, относительное удлинение 30%.

На рисунке 2 показаны результаты моделирования процесса вытяжки с упругим прижимом и матрицей. Начальная толщина заготовки 0,3 мм, диаметр заготовки 28 мм.



На рисунке 3 представлены результаты моделирования процесса вытяжки детали с жестким прижимом и матрицей. Начальная толщина заготовки 0,3 мм, диаметр заготовки 28 мм.



Таким образом, результаты моделирования показали, что применение упругого прижима для вытяжки деталей из нержавеющей стали является наиболее оптимальным вариантом. Так как при снижении напряжений в опасном сечении степень возможной деформации заготовки повышается, т.е. повышается предельное значение коэффициента вытяжки

Библиографический список

1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е издание перераб. И доп.- Л. Машиностроение. Ленингр. Отделение, 1979. – 520 с.
2. Пат. 2494830 Российская Федерация, В21D22/20. Штамп для глубокой вытяжки осесимметричных деталей [Текст]/ Попов И.П., Нестеренко Е.С., Кузина А.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский институт)" (СГАУ) – 2011149621/02; заявл. 06.12.2011; опубл. 10.10.2013, Бюл.№28.
3. Маслов В.Д. Моделирование процессов листовой штамповки в программном комплексе ANSYS/LS-DYNA: учеб.пособие /В. Д. Маслов, К. А. Николенко. - Самара: Изд-во Самар, гос.аэрокосм, ун-та, 2007. - 80 с. : ил.
4. Курненьков А.В. Численное моделирование процессов резанию: учеб. Пособие. Часть 1 / А.В. Курненьков, А.Ю. Шурыгин; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2017. – 184 с.

Секция 2

«Инженерный анализ и автоматизация»

УДК 621.7.044

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ НАГРУЖЕНИИ

Астапов В.Ю.¹, Джоздани М.С.²

1 – к.т.н., доцент, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет, кафедра «Технология производства ЛА», г. Москва

2 – соискатель, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет, кафедра «Технология производства ЛА», г. Москва

Аннотация. Рассматриваются вопросы моделирования процесса магнитно-импульсного деформирования листовых деталей и образования сложных переходных поверхностей деформированием по матрицам, имеющим различные формы геометрии профилей.

Ключевые слова: магнитно-импульсное деформирование, листовая заготовка, моделирование процесса деформирования

MODELLING PROCESS OF FORMING SHEET PARTS BY PULSE SHOCK LOADING

Astapov V.Yu.¹, Jozdani M.S.²

1 – PhD, associate Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University), department of Aircraft technology, Moscow

2 – applicant, Moscow Aviation Institute (National Research University), Department of Aircraft Technology, Moscow

Abstract. Solved the issues of determining the impact of magnetic pulse modes deforming force, which is needed when developing the technology of forming a complex profile of parts from sheet material by deforming the workpiece, and also modeling this process.

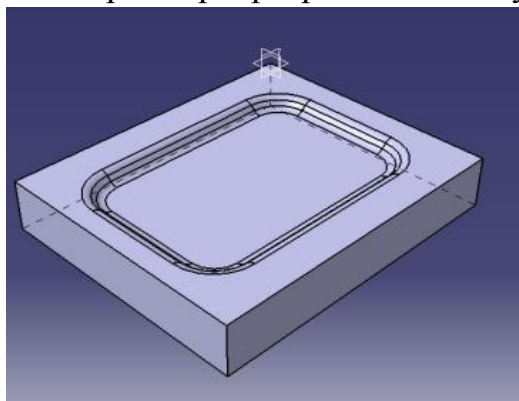
Key words: magnetic pulse forming, sheet blank, modelling process of forming.

Большое количество применяемых в конструкциях самолетов и вертолётов деталей составляют детали каркаса из листовых материалов. Общим для таких деталей является наличие стенки, бортов и различных элементов, повышающих жесткость и уменьшающих массу. Наиболее характерными деталями этого типа являются нервюры, диафрагмы, жесткости, различные окантовки. Эти листовые детали представляют собой сложные, в основном замкнутые формы, изготовление которых методами пластического деформирования требует достаточно сложной штамповочной оснастки. При этом в заготовительно-штамповочных цехах на долю доводочных работ после штамповки приходится до 30...40 % [1]. В какой-то мере снизить долю доводочных работ позволяют импульсные методы штамповки, основанные на инерционном варианте деформирования листовых заготовок после придания им заданного импульса. Одним из таких методов является магнитно-импульсная обработка металлов (МИОМ), использующая эффект создания давления на заготовку через магнитное поле,

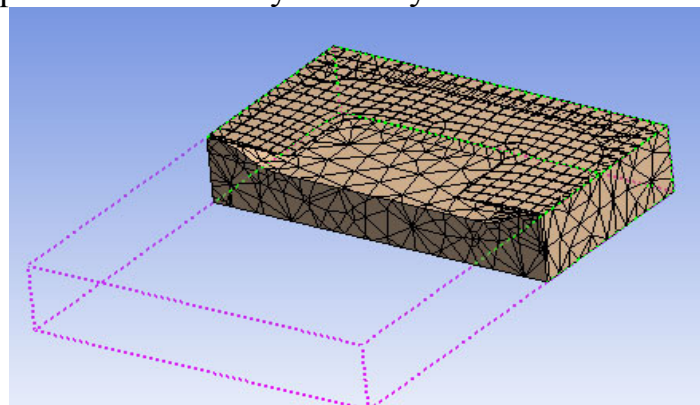
возникающее при прохождении импульсного тока по инструменту – индуктору.

Однако расчет режимов магнитно-импульсной обработки представляется весьма сложным, так как необходимо учитывать механические и электрические характеристики металлов заготовок, а также электрические параметры магнитно-импульсной установки, инструмента и параметры технологической оснастки. Сам метод МИОМ заключается в прохождении импульсного тока по плоскому индуктору, при этом наводятся соответствующие импульсные магнитные поля вокруг заготовок и индуктора, а взаимодействие импульсных магнитных полей приводит к деформированию в нашем случае листовой заготовки. Поэтому отработке режимов магнитно-импульсного деформирования с учетом параметров установки, материалов заготовок, сложности геометрии матриц, параметров инструмента и т.д. придается большое значение, для чего проводилось моделирование процесса [2,3]. При этом проводилось моделирование перемещения листовых заготовок и их деформирование по матрицам, имеющим различные формы геометрии профилей. Для этого была разработана методика моделирования процесса формообразования на первоначальном этапе с помощью многоцелевого конечно-элементного комплекса ANSYSLS-DYNA с возможностью варьирования параметров магнитно-импульсной штамповки, характеристик материалов и геометрических размеров изготавливаемых заготовок [4,5].

Были смоделированы сами матрицы с контурами и размерами поверхностей, соответствующими контурам, переходным зонам реальных окантовок. На рисунке 1 представлены смоделированные трехмерная и конечно-элементная модели одного из вариантов матриц. При этом задавались параметры форм матриц, а при дальнейшем моделировании формообразования листовых заготовок по матрицам применялись и характеристики материалов матриц, вследствие того, что сами матрицы испытывают значительные импульсные нагрузки при деформировании заготовок. Затем задавались геометрические параметры листовых заготовок, механические и электрические характеристики листового материала заготовок, энергетические параметры разрядного контура магнитно-импульсной установки.



а)



б)

Рисунок 1 – Трехмерная (а) и конечно-элементная (б) модели матрицы

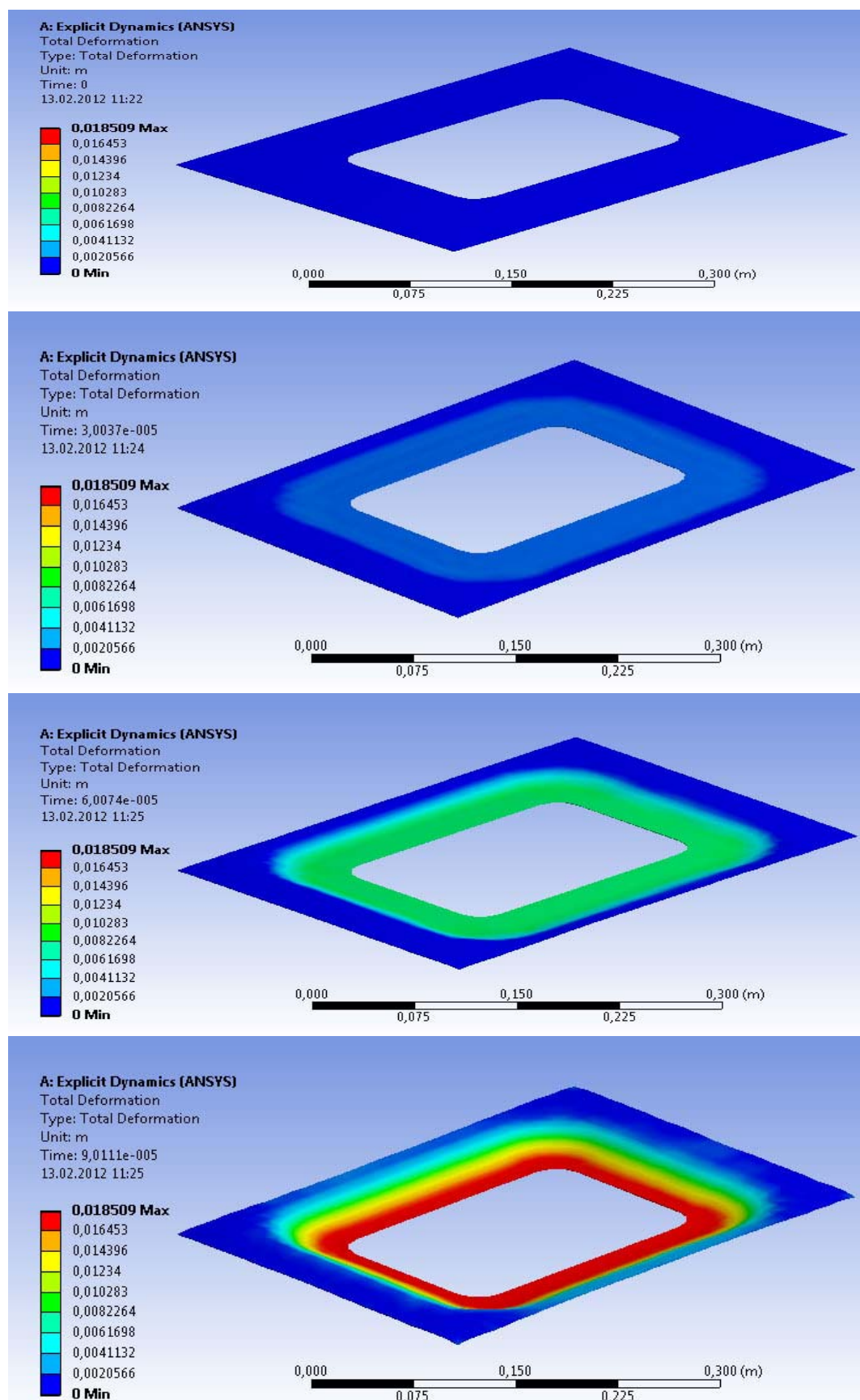


Рисунок 2 – Последовательность образования суммарной деформации листовой заготовки

Смоделированное деформирование листовых заготовок под воздействием давления импульсного магнитного поля представлено на рисунке 2. На данном рисунке показано деформирование листовой заготовки для четырех фиксированных моментов времени: вначале дана исходная листовая заготовка в начальный момент, то есть до деформирования, а затем представлена последовательность перемещения стенки заготовки до полной остановки материала и получения окончательного результата. При моделировании листовые заготовки деформировались непосредственно по матрицам, в то же самое время программа ANSYS-DYNA позволяет «отделить» отдеформированную заготовку от матриц, поэтому на рисунке 2 для удобства анализа показана последовательность деформирования только самой листовой заготовки. Кроме того, программа позволяет также для удобства моделирования выполнить разрез матриц и заготовок и представить в виде просмотра «на зазор, когда прямо в сечении видна последовательность прилегания стенок заготовки к поверхности матрицы и плотность прилегания.

В процессе моделирования видно изменение цвета деформируемой части и по шкале соответствия определялось перемещение стенки образца по времени, а также полученные данные кинематики движения. Изменение цвета позволяет выявить это перемещение по времени и определить формообразование листового материала по поверхности матрицы, выявить точность прилегания к поверхностям матриц, недоформовку в каких-либо местах, отскок от матриц в случае излишнего давления импульсного магнитного поля и позволяет оптимизировать как энергетические параметры процесса, так и отработать технологию магнитно-импульсной листовой штамповки на моделях и при необходимости оптимизировать технологическую оснастку.

Среди параметров, которые могут быть использованы в магнитно-импульсной штамповке (МИШ), основными являются скорость деформирования и скорость деформации. На основании значений этих параметров штамповка классифицируется либо динамически, либо статически для использования в анализе штамповки. Увеличение указанных параметров влияет на качество пластичности материала. В нашем моделировании, максимальная скорость деформирования составляет 63,4 м / с при 215 мкс. Максимальная скорость деформации также равна 1995 1/с при 146 мкс. Согласно исследованию процесса МИШ при моделировании, было определено, что переходная зона является критической областью с точки зрения НДС. Как в эксперименте, так и в моделировании, окончательное формообразование заготовки получена без каких-либо дефектов. Максимальные и минимальные логарифмические деформации были проанализированы для построения кривой предела деформации. Другим параметром, который рассматривался в эксперименте, было изменение толщины заготовки в различных областях после деформирования. В этом

моделировании толщина листа была оценена и проанализирована в конце деформирования.

Таким образом, поставленная задача и проведение моделирования позволили создать наиболее полные модели пластического формообразования при приложении магнитно-импульсного воздействия на листовые заготовки, учитывающие многообразие факторов, действующих на эту заготовку в процессе деформирования, включая поведение заготовки при деформировании по жесткой матрице и обеспечивающее достаточную точность изготовленных деталей. Важным является анализ результатов расчета и сравнение их с экспериментами, а также исследование влияния различных энергосиловых параметров на процесс магнитно-импульсной штамповки и качество самих деталей. Сопоставление результатов моделирования процесса с результатами эксперимента и методология моделирования могут быть расширены для моделирования с другими различными геометриями, формами и параметрами, и планируется, что в последующем будут использоваться в разработанных технологических процессах магнитно-импульсной штамповки листовых деталей.

Библиографический список

1. Грошиков А.И., Малафеев В.А. Заготовительно-штамповочные работы в самолетостроении. М.: Машиностроение, 1976. - 440 с., ил.
2. Степанов В. Г., Шавров И. А. Высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов. Л.: Машиностроение. 1975. 280 с.
3. Астапов В.Ю., Джоздани М.С. Влияние параметров магнитно-импульсной формовки окантовок люков на их характеристики // Кузнечно-штамповочное производство. 2011. № 12. С. 14-18.
4. Астапов В.Ю., Хорошко Л.Л., Джоздани М.С., Хорошко А.Л. Изготовление листовых окантовок люков летательных аппаратов магнитно-импульсным способом и моделирование с использованием САПР. Труды МАИ, вып. № 95. 09/20/2017, www.mai.ru/science/trudy/
5. Астапов В.Ю., Джоздани М.С. Моделирование формообразования листовых авиационных деталей импульсным магнитным полем. ХЛІ Академические чтения по космонавтике. Сборник тезисов. - Москва: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2017, с. 449-450, ISBN 978-5-7038-4650-6

УДК 621.914.1

**ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ
ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ****Дударев А.С.¹, Алексутин А.С.²***1 – к.т.н., доцент каф. «Инновационные технологии машиностроения» ПНИПУ, г. Пермь,**2 – бакалавр 4 года каф. «Инновационные технологии машиностроения» ПНИПУ,
г. Пермь.*

Аннотация. В статье представлены результаты моделирования процесса фрезерования полимерных композиционных материалов типа углепластик с помощью инженерного коммерческого пакета ABAQUS. Задача моделирования в динамической постановке была выполнена с использованием твердой модели специальной концевой фрезы-роутера, которые используются в реальном производстве. Модель фрезерования полимерных композиционных материалов получилась трудоемкой, возникло значительное количество вопросов и затруднений.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, углепластик, фрезерование, фреза-роутер, модель, резание.

MILLING PROBLEMS OF POLYMER COMPOSITES**Dudarev A.S.¹, Aleksutin A.S.²***1 – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of "Innovative Mechanical Engineering Technologies" PNRPU, Perm,**2 – 4th year bachelor of department "Innovative Mechanical Engineering Technologies" PNRPU, Perm.*

Abstract. The article presents the results of modeling the process of milling polymer composite materials such as carbon fiber using the engineering commercial software products ABAQUS. The dynamic modeling task was performed using a solid model of a special end cutter-router, which are used in real manufacture. The model of milling polymer composite materials turned out to be labor-intensive, and there were a lot of questions and difficulties.

Keywords: polymer composite material, carbon fiber, milling, cutter-router, model, cutting.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) все шире используются в производстве различных изделий. ПКМ обладают уникальными свойствами. Как правило, такие материалы представляют собой связующую массу, в которой распределены усиливающие элементы: волокна или порошки. В случае применения волокон в качестве армирующих элементов в ПКМ, их называют армированные ПКМ.

В настоящее время и в ближайшее будущее, в машиностроении не избежать механической размерной обработки. Существующая практика размерной обработки и формообразования заключается в процессах резания. При этом процесс резания деталей из армированных ПКМ существенно

отличается от резания металлов. В частности, установлено, что специфика строения полимерных композиционных материалов обуславливает следующие особенности при их механической обработке [1]:

1. Затруднительность получения высокого качества обработанной поверхности: наблюдаются сколы, расслоения. Слоистая структура ПКМ приводит к тому, что при износе инструментов происходит расслоение материала. Помимо этого, из-за низкой адгезионной связи связующего с наполнителем, при перерезании армирующих волокон, особенно при перекрестном армировании, происходит разлохмачивание перерезанных волокон, приводящее к ухудшению качества поверхностного слоя, что приводит к необходимости применения дополнительных отделочных операций или локального ремонта.

2. Ярко выраженная анизотропия свойств. Это определяет различие процесса резания при обработке вдоль и поперек армирующих волокон. Схема армирования существенно влияет на качество и производительность обработки. Поэтому при разработке технологической операции механической обработки ПКМ следует учитывать также различие физико-механических свойств в направлении основы и утка.

3. Снижение стойкости инструмента, связанное с интенсивным абразивным воздействием более твердого наполнителя.

4. Плохой отвод тепла из зоны резания, связанный с низкой теплопроводностью материала матрицы ПКМ. Поэтому при обработке ПКМ основная доля теплоты отводится через режущий инструмент. Согласно экспериментальным данным, тепловой баланс при обработке ПКМ следующий: в инструмент - 90 %, в стружку — 5%, в обрабатываемую деталь - 5 %, в то время как при обработке металлов иногда до 90 % теплоты уносится стружкой и только 10 % поглощается деталью и инструментом. ПКМ на полимерной матрице обладают также низкой теплостойкостью. При температурах выше 300...350 °С начинается термодеструкция связующего ПКМ. Это приводит к ухудшению качества обработанной поверхности, появлению прижогов, дефектного слоя.

5. Пониженная производительность процесса резания: в ряде случаев повышенное влагопоглощение ПКМ исключает применение смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) на водной основе. Таким образом, применение СОЖ не допустимо, резание как правило происходит «всухую» и в режиме «сверхтрения».

6. Высокие упругие свойства. Силы резания при обработке ПКМ в 10 раз ниже, чем при аналогичной обработке металлов, а упругие характеристики выше, поэтому точность их обработки в меньшей мере определяется упругими деформациями системы станок – приспособление – инструмент. На точность изделий из высокопрочных материалов при обработке резанием влияют упругие деформации самих деталей.

8. Специфические требования техники безопасности при резании ПКМ. Основные и вспомогательные материалы, используемые при производстве

изделий из ПКМ, относятся к категории вредных для здоровья человека. В процессе обработки материалов в окружающую среду выделяются вредные вещества в виде мелких частиц. Практически все ПКМ токсичны.

Механическая обработка существенно изменяет свойства поверхностного слоя, а состояние поверхностного слоя оказывает большое влияние на обеспечение высоких эксплуатационных показателей изделий. При механической обработке происходит изменение состояния поверхностного слоя, в том числе в связи с перерезанием и отрывом армирующих волокон. Перерезание армирующих волокон при обработке резанием приводит к снижению прочности изделий до 20%. Также одной из проблем механической обработки является разрушение связи между волокнами и матрицей обработанной поверхности. Как показали исследования [1-3], причиной данного разрушения является большая прочность волокон, что обуславливает их существенный изгиб перед режущей кромкой и отрыв от этих волокон менее прочной матрицы [4]. Такая особенность композитов обуславливает необходимость разработки специальных инструментов для их резания.

Современные методы моделирования процесса резания методом конечных элементов (МКЭ) получили в настоящее время значительное развитие, обеспечивая возможность прогнозирования формы и размеров стружки и обработанной поверхности, напряженно-деформированного состояния, температурного поля, проекций силы резания, остаточных напряжений. Вместе с тем результаты моделирования, особенно 3D, совпадают с экспериментом скорее качественно, чем количественно. Наиболее вероятными причинами такой ситуации являются несовершенство алгоритмов моделирования разрушения и трения, а также неточности в подготовке исходных данных. А процесс резания необходимо представлять как управляемое разрушение [2]. Такая предпосылка вполне современна, и справедлива не только при решении задачи моделирования резания с помощью инженерных коммерческих пакетов МКЭ, но и работает при аналитических трактовках физических процессов резания [2].

Исследование деформаций и напряжений в зоне резания, позволяет прогнозировать такие важные параметры, как срок службы инструмента, качество и точность обработанной поверхности; задавать необходимые параметры режима резания, геометрию инструмента.

Задача резания распадается на подзадачи механики сплошных сред (расчет напряжений, деформаций и т.д.), которые могут быть описаны системами дифференциальных уравнений. Кроме того, значительная часть других физических явлений также распадается на подзадачи: передача тепла, процессы гидродинамики, газодинамики, которые также описываются указанными уравнениями. Непосредственное решение систем дифференциальных уравнений чаще всего возможно для относительно простых краевых условий.

Однако при резании, большинство режущего инструмента в виде тел со сложной формой сочетается со сложной схемой нагружения. Для этих условий получение аналитических решений обычно не представляется возможным. Исходя из этого, для резания, в частности для фрезерования целесообразно использовать численные методы расчета.

Под численными методами понимают приближенные алгоритмы решения задач вычислительной математики и математической физики, аналитические подходы к которым оказываются чрезмерно сложными, громоздкими, трудоемкими, а то и совсем не разработанными. В настоящее время можно выделить три группы численных методов, позволяющих решать различные задачи моделирования сплошных сред: метод конечных разностей (МКР), метод конечных элементов (МКЭ), метод граничных элементов (МГЭ) (граничных интегральных уравнений). Несмотря на различие в подходах, эти методы объединяет единая математическая основа – методы и уравнения математической физики. Это стало возможным потому, что большие классы физических явлений описываются весьма схожими математическими моделями и системами уравнений.

Математические модели этих явлений, как правило, описываются при помощи дифференциальных уравнений с частными производными, называемых уравнениями математической физики. Основные трудности при решении задач математической физики связаны с тем, что точному решению существующими математическими методами поддаются лишь уравнения самого простого вида внутри геометрически тривиальных границ. Чтобы преодолеть эти трудности, необходимо преобразовать задачу к чисто алгебраической форме, включающей только основные арифметические операции. Для достижения этой цели могут быть использованы различные виды дискретизации непрерывной задачи, определенной дифференциальными уравнениями. При такой дискретизации бесконечное множество чисел, представляющих неизвестную функцию или функции, заменяется конечным числом неизвестных параметров, и для этого процесса требуется некоторая форма аппроксимации. Именно в этом и состоит основное различие между МКР, МКЭ и МГЭ.

Метод конечных разностей (МКР) успешно используется для решения задач теории упругости, теплопроводности и моделирования других процессов в сплошных средах. При этом трудности графической интерпретации исходных данных и результатов, большой объем работ по подготовке задачи к решению привели к тому, что МКР в инженерной практике и в научных исследованиях вытесняется МКЭ и МГЭ.

Метод конечных элементов (МКЭ) реализует альтернативный по отношению к МКР подход, состоящий в разбиении исследуемой области сплошной среды на ряд неперекрывающихся подобластей или элементов и построении затем аппроксимации кусочным образом, то есть отдельно для каждой подобласти. Появление этого метода обусловлено широким внедрением ЭВМ, и теперь наблюдается обратная картина: МКЭ

способствует более интенсивному внедрению ЭВМ в инженерную и исследовательскую деятельность. В настоящее время широко распространен ряд мощных коммерческих пакетов (ANSYS, COSMOS, Comsol, ADVENTEDGE, LS-DYNA, ABAQUS, Deform и др.) и разработано большое число исследовательских программ. Каждый из вышеперечисленных инженерных пакетов относится к группе CAE (computer-aided engineering) т.е. к средствам инженерных расчётов, анализа и симуляции физических процессов, осуществляют динамическое моделирование, проверку и оптимизацию изделий. Каждый из этих пакетов обладает особенностями использования, слабыми и сильными сторонами для применения к задачам моделирования сверления, фрезерования полимерных композиционных материалов.

Обзор возможностей подобных пакетов инженерного анализа – отдельная тема поисковых исследований.

Программный конечно-элементный комплекс ABAQUS — универсальная система общего назначения, предназначенная как для проведения многоцелевого инженерного многодисциплинарного анализа, так и для научно-исследовательских и учебных целей в самых разных сферах деятельности.

С помощью комплекса ABAQUS можно решать такие сложные задачи, как расчет прочности турбомашин и проектирование двигательных установок, анализировать работу шасси и трансмиссий, определять поведение шин, рассчитывать сварные соединения, проводить анализ аварийных столкновений (краш-тесты), осуществлять тесты на падение, моделировать сверхпластическое формование, литье металлов, пробивание материала, выполнять расчеты композиционных структур, учитывать контактное взаимодействие большого числа тел и контактов, сейсмические воздействия, взрывные воздействия, проводить расчеты надежности ядерных реакторов, анализ прочности электронных компонентов и т.д. [5], поэтому авторы посчитали программный комплекс ABAQUS наиболее приемлемым для решения задачи моделирования фрезерования ПКМ.

В этой статье, показаны некоторые результаты возможностей ABAQUS.

Можно выделить несколько общих этапов моделирования процессов фрезерования или сверления, причем пока неизвестны адекватные решения этих задач, имеющие свои особенности в различных CAE системах:

- создание геометрии режущего инструмента и заготовки;
- задание свойств материалов режущего инструмента;
- задание свойств полимерных композиционного материала;
- наложение сетки;
- задание граничных и начальных условий, связей, направления, скорости;
- запуск расчета по кинематической схеме;

- вывод и анализ результатов.

Проект начали с построения фрезы-роутера, подобные фрезы выпускают инструментальные компании Cerin (Италия), Seco (Швеция) и др. Общий вид геометрии фрезы, смоделированной в Компас-3D приведен на рис. 1. Созданную модель фрезы диаметром 12 мм из формата Компаса, конвертировали с расширением для ABAQUS.

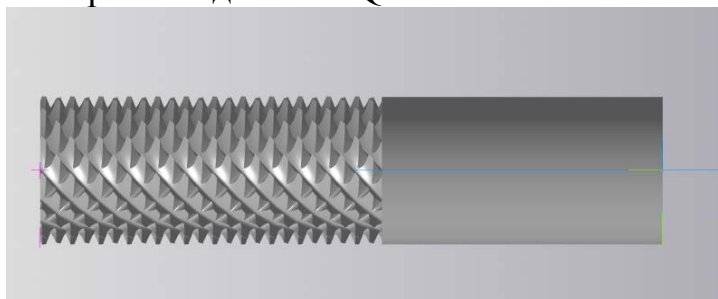


Рис. 1 Фреза-роутер

В качестве исследуемого полимерного композиционного материала был выбран углепластик КМУ-4э, но оказалось проблемой поиск всех физико-механических характеристик для задания свойств материала в ABAQUS. Дело в том, что отечественные характеристики ПКМ не согласованны с западными. Так согласно стандартам: ГОСТ Р 56815-2015 Композиты полимерные. Метод определения удельной работы расслоения в условиях отрыва, ГОСТ Р 56807-2015 Композиты полимерные. Внесение результатов испытаний механических свойств полимерных композитов в электронные базы данных. Общие требования. В вышеуказанных ГОСТах оговорены стандартные характеристик для ПКМ, Растяжения, Сжатие, Изгиб, Сдвиг и т.п. численные данные которых в свою очередь приводятся в соответствующих отраслевых стандартах и справочниках в системе СИ.

В ABAQUS требовалось вводить значения характеристик, например таких как: Модуль Юнга вдоль направления волокна 1 (фунт/квадратный дюйм); Модуль Юнга вдоль направления матрицы 2 (фунт/кв. дюйм); Модуль Юнга вдоль направления матрицы 3 (фунт/кв. дюйм); коэффициенты Пуассона; Модуль сдвига в 1-3 плоскости (фунтов на кв. дюйм); Модуль сдвига в 2-3 плоскости (фунт/кв. дюйм); Коэффициент пропорционального демпфирования жесткости; Напряжение разрушения при растяжении в направлении волокна (направление 1) (фунт/кв. дюйм); Сжимающее напряжение разрушения в направлении волокна (направление 1) (фунт/ кв. дюйм); Напряжение разрушения при растяжении в направлении 2 (поперек направления волокна) (фунт/кв. дюйм); Сжимающее напряжение разрушения в направлении 2 (поперек направления волокна) (фунт/кв. дюйм); Напряжение разрушения при растяжении в направлении 3 (поперек направления волокна) (фунт/кв. дюйм); Сжимающее напряжение разрушения в направлении 3 (поперек направления волокна) (фунт/кв. дюйм); Прочность на сдвиг в плоскости 1-2 (фунт/кв. дюйм); Прочность на сдвиг в плоскости 1-

3 (фунт/кв.дюйм); Прочность на сдвиг в 2-3 плоскости (фунт/кв. дюйм). И таким образом, в процессе решения задачи возникла проблема нехватки информации по вышеуказанным характеристикам, такие данные отсутствуют даже в отраслевых институтах. Поэтому было принято решение, принимать недостающие характеристики из зарубежных работ, посвященных моделированию разрушения углепластика методами МКЭ в среде ABAQUS [5] и из работы по моделированию сверления углепластика методом МКЭ [6].

Заготовка из ПКМ моделировалась в виде построения многослойного бруса общей толщиной 10 мм, состоящего из монослоёв толщиной 0,2 мм с наложением связей монослоев, и настройкой характеристик анизотропности каждого слоя по отдельности.

Параметры режима фрезерования задавали следующими: подача 0,05 м/с (3000 мм/мин), частота вращения фрезы 40 рад/с (382 об/мин).

В результате расчета, с заданными свойствами и параметрами кинематики получили следующие результаты (рис. 2, 3).

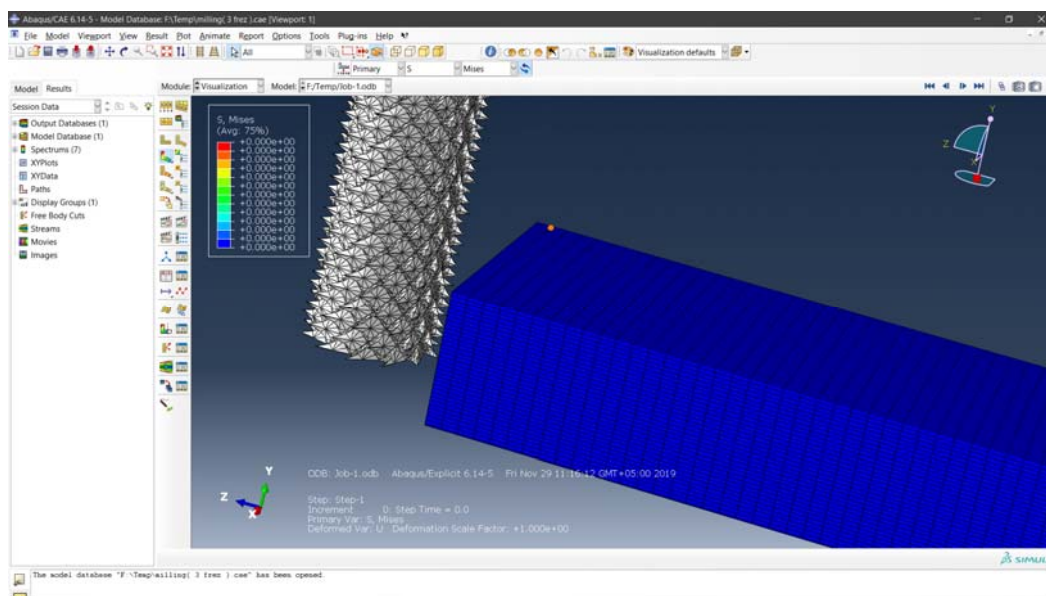


Рис. 2 Фрагмент подхода концевой фрезы-роутера к заготовке ПКМ

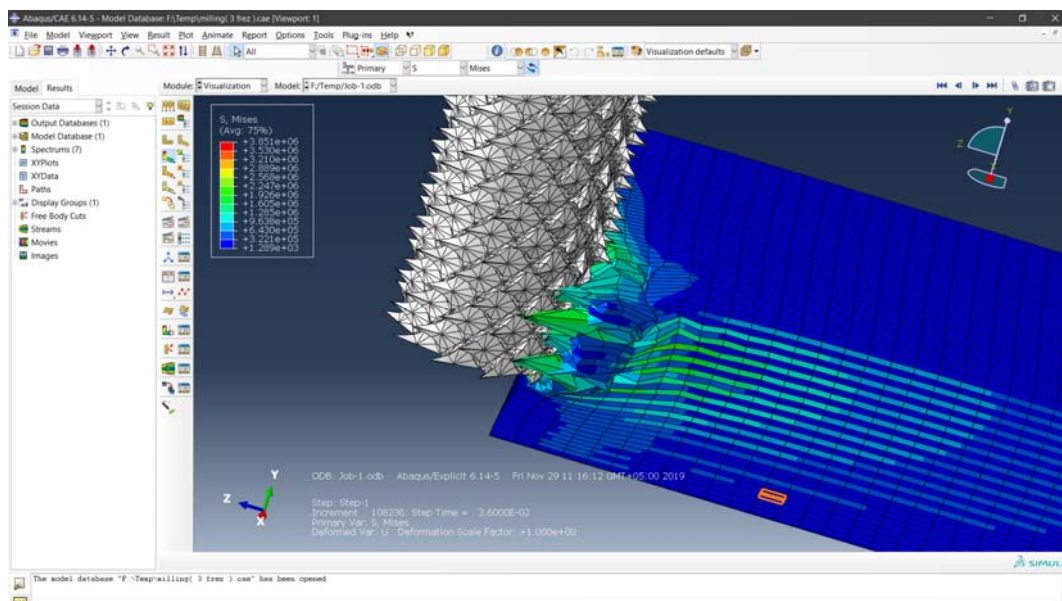


Рис. 3 Фрагмент входа концевой фрезы-роутера в заготовку ПКМ

При решении задачи моделирования фрезерования заготовки из ПКМ была получена математическая модель, позволяющая проводить анализ процесса и снимать выходные информационные показатели фрезерования (напряженно-деформированное состояние, силы, температуру в зоне обработки и т.д.).

Таким образом, впервые в России было смоделировано фрезерование ПКМ в коммерческом пакете инженерного анализа ABAQUS.

Выводы

1. Необходимым условием построения адекватной модели процессов резания (фрезерования, сверления, точения) является наличие всех физико-механических характеристик обрабатываемых материалов. Характеристик ПКМ у ученых и исследователей в России не хватает.

2. При визуализации процесса фрезерования данной модели в ABAQUS наблюдался сход стружки по качественной картине совершенно отличный от практического фрезерования, так волокна из монослоев ПКМ затягивало к фрезе, что напоминало процесс перематывания ПКМ, но не резания. Учитывая архисложность постановки задачи, считаем что невозможно учесть все факторы в модели фрезерования, так как обрабатываемые полимерные композиционные материалы являются сложными многофазовыми средами, и полная адекватная модель пока является недостижимой.

3. Необходимо шире проводить экспериментальные работы по исследованию ПКМ – для пополнения статистических данных различных характеристик и для сверки полученных результатов расчётным путем.

4. Государству необходимо выделять финансирование на подобные проекты моделирования, поддерживать гранты по линиям РФФИ, РНФ, так

как для авторов важна мотивация при построении подобных моделей, а также требуются значительные вычислительные мощности.

Библиографический список

1. Криворучко Д.В., Залога В.А. Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методические основы - монография. Сумы: Университетская книга, 2012. – 496 с.

2. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов. М: Машиностроение, 2009. – 640 с.

3.Хавин Г.Л. Моделирование механизма процесса резания композиционных материалов // Інтегровані технології та енергозбереження Інтегрированные технологии и энергосбережение. – 2012, №4. С. 64–68.

4. Шульдешова П. М., Деев И. С., Железина Г. Ф. Особенности разрушения арамидных волокон СВМ и конструкционных органопластиков на их основе // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №2. [dx.doi.org/ 10.18577/2307-6046-2016-0-2-11-11].

5. Pederson J. Finite Element Analysis of Carbon Fiber Composite Ripping Using ABAQUS//A Thesis Presented to the Graduate School of Clemson University, December, 2006, p 69.

6. Shuji Usui, Jon Wadell, Troy Marusich. Finite Element Modeling of Carbon Fiber Composite Orthogonal Cutting and Drilling// 6th CIRP International Conference on High Performance Cutting, HPC2014. Pp. 211-216.

УДК 621.981

**ПОДХОДЫ К ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ РАЗРУШЕНИЯ
МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЗАДАЧ ЯВНОЙ ДИНАМИКИ****Илюшкин М.В.***К.т.н., зам. генерального директора по науке АО «Ульяновский НИАТ»*

Аннотация. В статье описаны подходы к идентификации параметров разрушения материала применительно к программе динамического анализа LS-DYNA. Описаны варианты с учетом зоны шейкообразования и разрушения. Рассмотрены основы модели разрушения Gissmo

Ключевые слова: Идентификация, модели разрушения, LS-DYNA, шейкообразование, GISSMO

**APPROACHES TO IDENTIFYING MATERIAL FAILURE PARAMETERS
FOR EXPLICIT DYNAMICS PROBLEMS****Ilyushkin M.V.***Deputy of general director in science PC "ULYANOVSK NIAT", c.t.s.*

Abstract. The article describes approaches to the identification of material failure parameters in the LS-DYNA dynamic analysis program . Variants are described taking into account the zone of neck formation and destruction. The basics of the GISSMO destruction model are considered

Key words: Identification, material failure, LS-DYNA, GISSMO, neck formation

Развитие разделительных процессов обработки давлением и механообработки связано с использованием моделей материала требующих определение параметров разрушения. Для этого требуется проведение ряда тестовых экспериментов и проверка конечно-элементным моделированием.

Наиболее распространенным испытанием упруго-пластичного материала является испытание на одноосное растяжение, позволяющее получить диаграмму растяжения материала.

В данном случае при исследовании разрушения материала представляет интерес зона шейкообразования (рис. 1) и предел разрушения, при котором происходит разрушение образца.

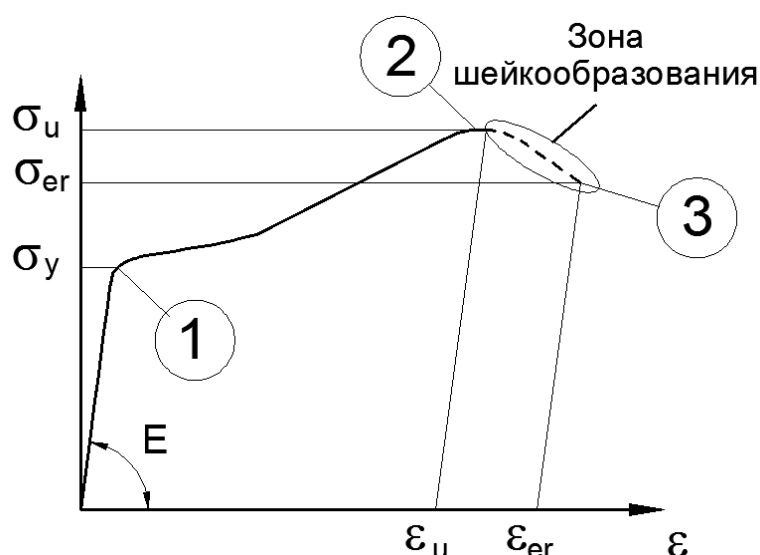


Рис. 1. Характерные точки на диаграмме одноосного растяжения и основные механические параметры

В справочной литературе параметр шейкообразования связан со значением поперечного сужения ψ , при этом предельная деформация (деформация разрушения) может быть определена из следующей формулы:

$$\varepsilon_{er} = \ln\left(\frac{1}{1-\psi}\right) \quad (1)$$

При отсутствии в справочных данных параметра ψ предельная деформация может быть найдена по следующей формуле:

$$\varepsilon_{er} = n \cdot \ln(1 + \delta) \quad (2)$$

где n – параметр, связанный с пластичностью материала.

Например, для материала из низкоуглеродистой стали, этот параметр может быть принят равным 3.

Все параметры соответствующие упруго-пластическому поведению материала могут быть введены в программы явного анализа LS-Dyna, ANSYS LS-Dyna, ANSYS Autodyn или ANSYS Explicit STR.

При описании зоны шейкообразования можно использовать несколько подходов:

1. Измерение минимальной площади образца S_t , параметров R_1 и R_2 в зоне шейкообразования на всей стадии испытания, тогда в любой момент времени рассчитывается действующая деформация:

$$\varepsilon_{neck} = \ln\left(\frac{1}{1-\psi_t}\right) = \ln\left(\frac{d_0}{d_t}\right) \quad (3)$$

$$\sigma_{er} = \frac{F_{er}}{\pi r_1^2 \left(1 + \frac{r_1}{4r_2}\right)} \quad (4)$$

$$(5)$$

где d_t , S_t – соответственно диаметр и площадь в зоне шейкообразования в момент времени t .

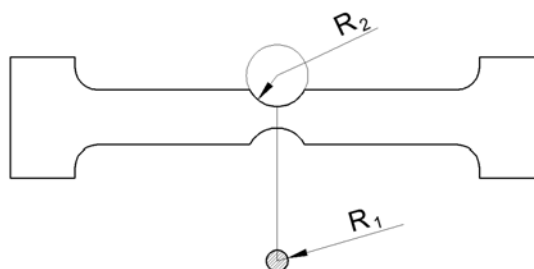


Рис. 2. Измерение величин радиусов при испытании на одноосное растяжение

2. К исходной кривой от точки соответствующей пределу прочности σ_u добавляется наклонная линия, описывающая зону шейкообразования.

В первом приближении кривая упрочнения за точкой локального сужения имеет угол наклона соответствующий значению σ_u [4]. Предельная деформация соответствует значению ε_{er} и находится по формуле $\varepsilon_{er} = \ln\left(\frac{1}{1-\psi}\right)$, а значение σ_{er} из построения.

Данный метод удобно применять, когда у нас имеются только справочные данные, но нужно учесть зону шейкообразования и разрушение.

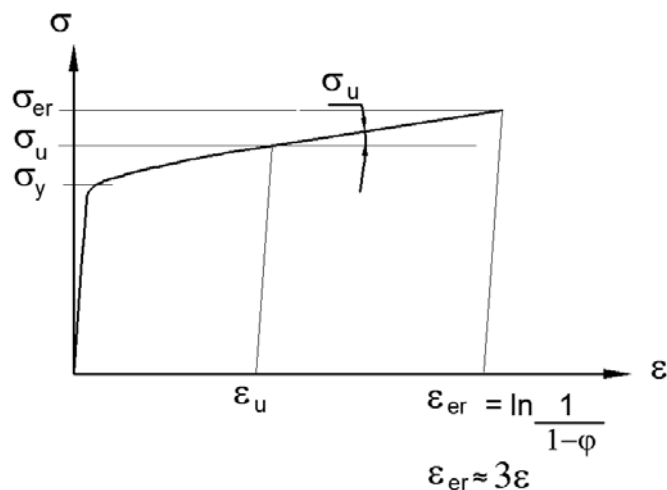


Рис. 2. Кривая упрочнения по углу наклона в зоне шейкообразования

3. Проведение прямой от точки предела прочности до точки разрушения [5]. В этом случае требуется определение точек σ_{er} и ε_{er} и проведение линии от σ_u к этой точке [6].

$$\sigma_{er} = \frac{F_{er}}{S_K} = k \frac{\sigma_u}{1-\psi} \quad (6)$$

где F_{er} - усилие разрушения,

S_K – площадь шейки после разрушения

Где $k = F_{er} / F_{\max}$ - коэффициент разрушающей нагрузки (обычно находится в диапазоне 0,6...1).

Последние способы имеют недостатки, а именно кривая на графике представляет собой линию между σ_B и σ_{er}

Избежать этого позволяет способ получения кривой упрочнения с помощью итерационного приближения графика усилия, полученного при моделировании к графику усилия в эксперименте [10].

При моделировании процессов деформирования, например, процессов ОМД материал может находиться в различном напряженном состоянии, поэтому важно учитывать существующее напряженное состояние в каждый момент деформирования. Это особенно важно учитывать при моделировании процессов разрушения, где от напряженного состояния меняется величина деформации разрушения. К примеру, при сжатии деформация разрушения значительно больше, чем при растяжении и на материал можно воздействовать более жесткими режимами деформирования. Этим объясняется применение метода стесненного изгиба на предприятии АО «Ульяновский НИАТ», где деформациями сжатия получают профили из трудно-деформируемых материалов.

Правильно учитывать поведения материала в зависимости от напряженного состояние позволяют и программы динамического моделирования, например, программа ANSYS/LS-DYNA. Программа позволяет ввести параметры триаксилити и параметры Лоде, которые учитывают действующее напряженное состояние. Подробно это было описано ранее в источнике [11].

В программе используются несколько моделей для моделирования процесса разрушения материала. Например, MAT123, MAT224 и др. Кроме того, распространенным является модель GISSMO, обеспечивающая различные возможности при моделировании разрушения. Эта модель разрушения, как правило, используется с моделью материала Джонсона-Кука MAT15 или кусочно-линейной моделью MAT24. Сами параметры разрушения для GISSMO задаются в материале MAT_ADD_EROSION. Для калибровки данной модели кроме одноосного растяжения образца требуется проведения испытания материала на сдвиг, выдавливание сферическим пуансоном (испытание на получение FLD диаграмм), 3-х точечный изгиб [11].

Модель разрушения Gissmo использует феноменологический критерий пластического разрушения, где кривая деформации разрушения определяется в зависимости от напряжения триаксилити (напряженного состояния) в плоском напряженном состоянии и может быть определена экспериментальными исследованиями указанными выше. Кроме этого, требуется ввести кривую неустойчивости, определяющую эквивалентную пластическую деформацию в начале шейкообразования.

Получение точных параметров модели разрушения Gissmo является не простой задачей, однако это значительно увеличит точность результатов моделирования технологических процессов, при которых деформация заготовки происходит в различных напряженных состояниях (например, сжатие заготовки при стесненном изгибе) или процессов имеющих разрушение (разделительные процессы ОМД и процессы механообработки).

Библиографический список

1. DOT/FAA/AR-MMPPS-01 Metallic Materials Properties Development (MMPDS).
2. Циклические деформации и усталость материалов. Том 2. Долговечность металлов с учетом эксплуатационных и технологических факторов. Под редакцией Трощенко В.Т. – Киев: Наукова думка. 1985.
3. Гохфельд Д.А., Гецов Л.Б., Кононов К.М., Кульчихин Е.Т., Ребяков Ю.Н., Саадаков О.С., Тимашев С.А., Чепурский В.Н. Механические свойства сталей и сплавов при нестационарном нагружении. Справочник. Екатеринбург: УрО РАН, 1996.
4. Кирсанов А.Р. Методика оценки повреждаемости ГТД на этапах его создания, изготовления и эксплуатации от поражающего воздействия птиц. Диссертация на соискание к.т.н. Москва 2016 г.
5. LS-DYNA Analysis for structural mechanics. Predictive Engineering.
6. Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. Сопротивление материалов: Учебное пособие. – М.: Наука. Гл. ред. – мат. Лит, 1986 – 560 с.
7. LSTC, “LS-DYNA Keyword User’s Manual Volume II Material Models”
8. Гецов Л.Б. Материалы и прочность газовых турбин. Конструктивная прочность, опыт эксплуатации, методы расчета прочности и ресурса, детали из конструкционных керамических материалов / Л.Б. Гецов. – Рыбинск: ООО “Издательский дом Газотурбинные технологии”, 2011. – Книга 2. – 496 с.
9. Manjoine, M.J.: Creep-Rupture Behavior or Weldments /// 1982.
10. Константинов А.Ю. Экспериментально-теоретический подход к исследованию высокоскоростного деформирования и разрушения материалов с использованием мерных стержней. Диссертация на соискание д.т.н. Нижний Новгород 2018 г.
11. Илюшкин М.В. Идентификация упруго-пластических моделей материала для задач явной динамики // Наука, теория, практика авиационно-промышленного кластера современной России. Материалы IV Международной научно-производственной конференции, приуроченная ко Дню Российской науки и 35-летию АО “Ульяновский НИАТ” (г. Ульяновск, 7-8 февраля 2019 г.): сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2018. – с. 26-40.

12. Calibration of GISSMO model for fracture prediction of a super high formable advanced high strength steel. Xiaoming Chen, Guofei Chen, Lu Huang, Ming F. Shi. 15th International LS-DYNA User Conference.

УДК 621.981

ЛОКАЛЬНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОФИЛИРОВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Кондратьев Е.Д.*вед. инженер-программист АО «Ульяновский механический завод», г. Ульяновск*

Аннотация. Приведены сведения о средствах автоматизации существующих профилегибочных линий в России, Китае, Италии. Обсуждаются вопросы создания автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) на базе нескольких профилировочных линий.

Ключевые слова: профилирование, рулонница, профилегибочный станок, отрезное устройство.

LOCAL AUTOMATION OF ROLL-FORMING EQUIPMENT

Kondratiev E.D.*leading programmer of "Ulyanovsk Mechanical Plant", JSC, Ulyanovsk.*

Abstract. There are given some data on automation facilities of the existing roll-forming lines in Russia, China and Italy. There are discussed several issues related to creating automated control system of technological process (automatic process control system = APCS) for a group of roll-forming lines.

Keywords: roll-forming, uncoiler, roll-forming machine, cut-off device.

Для организации непрерывного автоматизированного процесса изготовления гнутых профилей необходимо наличие как минимум разматывающего устройства, профилировочного станка и отрезного устройства. Расширение технологических возможностей профилировочного оборудования достигается путем включения в состав линии дополнительного оборудования (перфорирующие устройства, листопрямильные машины, посты сварки и др.). На рис. 1 представлен состав линии для изготовления гнутых профилей из ленты толщиной до 5 мм [1].

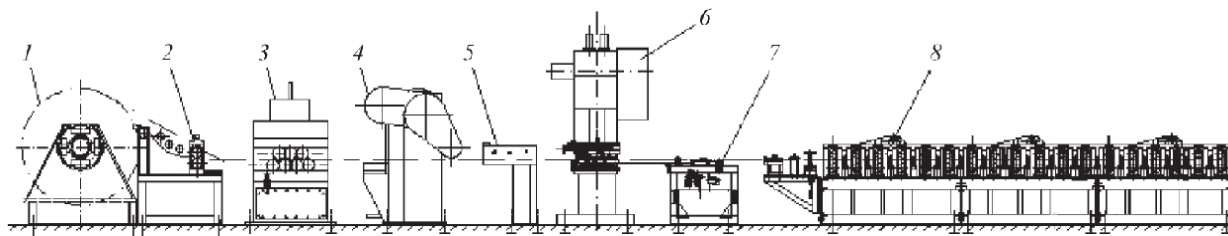


Рис. 1. Профилировочная линия с расширенными технологическими возможностями: 1 – разматывающая рулонница; 2 – тянущее устройство с отгибателем кромок; 3 – правильная машина; 4 – пресс для подрезки заготовки; 5 – подающее устройство; 6 – перфорирующий пресс; 7 – синхронизирующее устройство; 8 – профилировочный стан

Рассмотрим ключевые элементы профилировочной линии с позиции использования автоматизированных систем управления.

Рулонница разматывающая используется для подачи рулонного материала в профилегибочный стан (рис. 2). Разматывающие устройства бывают с электроприводом и без него. При использовании рулонниц с электроприводом при сохранении постоянной частоты вращения вала происходит изменение линейной скорости подачи ленты в стан. Это обусловлено уменьшением диаметра рулона по мере расходования материала. Для обеспечения постоянной скорости подачи заготовки в станок на рулонницу устанавливается система контроля натяжения ленты, представляющая из себя рычаг, в зависимости от положения которого происходит корректировка скорости вращения вала. При ослаблении натяжения ленты рычаг опускается, вследствие чего происходит снижение частоты вращения вала рулонницы. При излишнем натяжении ленты, напротив – увеличение [2, 3].

Устройства пневматические для отрезки профиля действуют аналогично пневматическому устройству для перфорации отверстий. Для обеспечения непрерывности процесса профилирования эти устройства имеют летучую конструкцию. Помимо движений, направленных непосредственно на формообразование, устройства перемещаются по станине согласовано с обрабатываемой деталью.

По управляющему сигналу от АСУ воздух из ресивера поступает в верхнюю полость пневмоцилиндра, приводя в движение поршень с установленным на него пуансоном. Параллельно с этим происходит продольное перемещение устройства вдоль станины по направлению движения профиля.

Возвратное движение пуансона происходит за счет подачи воздуха в нижнюю полость пневмоцилиндра. По окончании процесса формообразования устройство пневматическое возвращается в исходное положение под действием пружин. После прохождения устройства перфорации профиль поступает на профилировочный стан, после устройства отрезки – на стол-сбрасыватель.

Для приема готовых деталей и удаления их из рабочей зоны используется **стол-сбрасыватель**. Поступившие детали удаляются из рабочей зоны по сигналу от АСУ, за счет пневмоцилиндров, которые откидывают нижнюю панель стола.

Автоматизация рабочего процесса достигается путем включения в состав линии **электронной системы** управления. К основным задачам



Рис. 2. Разматывающая рулонница с системой контроля натяжения

системы относятся: обеспечение расстояния торможения, длины отрезаемой детали, количества изготавливаемых деталей, расстояния от места отрезки до стола со сбрасывателем.

Наиболее распространены на текущий момент АСУ на основе компонентов Schneider Electric, Moeller, Delta Electronics, Sick, Siemens.

Схема АСУТП представлена на рис. 3.

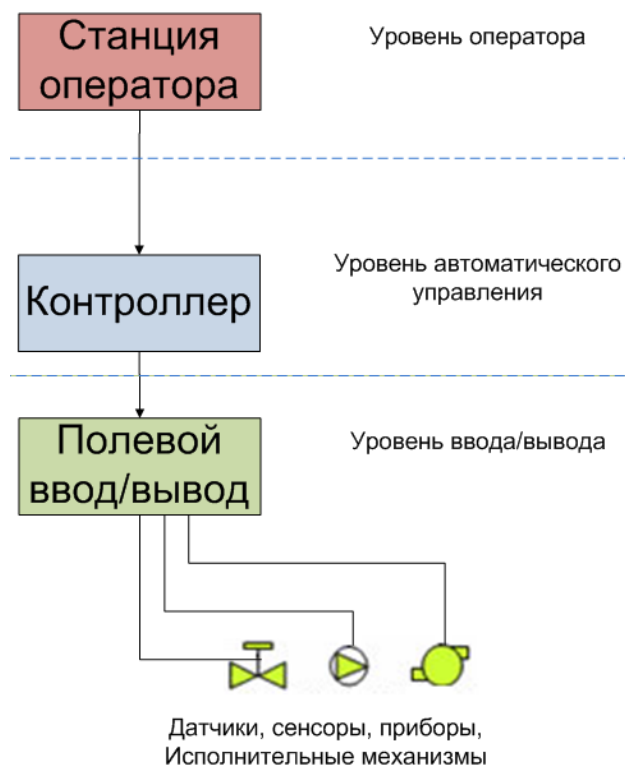


Рис. 3 Схема АСУТП

Для определения длины получаемого профиля чаще используется контактный метод измерения, заключающийся в размещении мерительного ролика в контакте с измеряемой деталью. В процессе работы оборудования поступательное движение детали передается ролику. С роликом связан импульсный генератор, который выдает определенное число импульсов на один оборот ролика. Цена импульса может быть определена по следующей формуле:

$$K = \frac{\pi \times D}{n \times \mu},$$

где n – число импульсов на 1 оборот генератора;

D – диаметр мерительного ролика;

μ – передаточное отношение между роликом и генератором.

Подсчитав число импульсов m , можно определить длину изделия:

$$K = m \times K.$$

При использовании контактных роликов возможно проскальзывание ленты. Для его исключения применяются магнитные ролики, либо увеличивается сила прижима ролика к изделию.

Рассматривая продукцию основных производителей профилировочного оборудования, можно сделать вывод, что автоматизация оборудования носит локальный характер. В основной массе профилировочное оборудование позволяет в автоматическом режиме производить партию изделий определенной длины и заданного количества.

Несмотря на это, на рынке представлены автоматизированные участки, позволяющие производить готовые изделия, состоящие из нескольких профилей. В качестве примера можно привести участок для изготовления телескопических направляющих фирмы LMS International limited [4]. Данный участок состоит из трёх профилировочных станков и одного сборочного автомата. В нижеприведенной таблице дана сводная информация о системах автоматизации станков различных производителей.

Элементы автоматизации профилировочных линий

Производитель	Рулон-ница	Перфори-рующее устройство (пневмат.)	Отрез-ное уст-ройство	Стол приемный (с накопителем/ сбрасывате-лем)	Пост свар-ки	Сбороч-ные автома-ты
Мобипроф (Россия)	●		●			
Регион станок (Россия)						
Профоборудо-вание (Россия)	●	●	●			
ООО "АРКАДА-МБ" (Россия)	●	●	●			
High-precision section steel roll forming specialist (Китай)	●	●	●			
BMS machine (Китай)	●	●	●	●	●	

LMS International limited (Китай)	•	•	•	•	•	•
Cangzhou City Tianyu Machinery Manufacture Co.,Ltd (Китай)	•	•	•	•	•	
Dahezhongbang (Xiamen) Intelligent Technology Co., Ltd. (Китай)	•	•	•	•	•	
Gasparini (Италия)	•	•	•	•	•	
Dallan (Италия)	•	•	•	•	•	

Таким образом, видно, что автоматизация профилировочного оборудования имеет модульную структуру, а состав АСУТП определяется на этапе проектирования профилировочного оборудования.

Библиографический список

1. Филимонов С.В. Классификация профилировочных станков и их применение / С.В.Филимонов, Филимонов В.И., Филимонов А.В. – Вестник машиностроения, 2007, № 12. – С. 67 – 72.

2. Филимонов С.В., Филимонов В.И., Филимонов А.В. Автоматизированные линии производства гнутых профилей / С.В. Филимонов, В.И. Филимонов, А.В. Филимонов // Заготовительные производства в машиностроении, 2008, № 4. – С. 39–44.

3. Филимонов С. В., Лапшин В. И. Линии производства гнутых профилей // Формообразование гнутых профилей: теория и практика. (2011 г.). – С. 136–145.

4. LMS International limited [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.lmsmachinery.com/product/detail/14>, свободный (01.03.2020).

УДК 621.981

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕССА ПОПЕРЕЧНОЙ ОТБОРТОВКИ ОТВЕРСТИЙ ПРИ ФОРМОИЗМЕНЕНИИ ПРОФИЛЯ В РОЛИКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ LS-DYNA

Марковцев В.А.¹ Халилов Ф.Х.²

*1 – д.т.н., генеральный директор АО «Ульяновский НИАТ», зав. каф. «Технологии ЗШП»
УлГТУ, г. Ульяновск*

2 – нач. НИС-132 АО «Ульяновский НИАТ», г. Ульяновск

Аннотация. В статье описан процесс моделирования разработки технологии процесса поперечной отбортовки отверстий при формообразовании профиля в роликах с использованием программы LS-DYNA. Описан расчет деформации профиля под нагрузкой. Смоделирован процесс поперечной отбортовки отверстий в роликах. По результатам моделирования произведен анализ полученных результатов: геометрии, сечения, качества поверхности профиля. Разработана и выпущена КД на технологическую оснастку поперечной отбортовки отверстий, даны рекомендации по конструкции установки для осуществления процесса.

Ключевые слова: моделирование, профиль, отбортовка, LS-DYNA.

DEVELOPMENT OF TRANSVERSE HOLES OPENING PROCESS TECHNOLOGY WHEN FORMING THE PROFILE IN ROLLERS USING THE LS-DYNA

Markovtsev V.A.¹, Khalilov F.H.²

1 – doctor of technical Sciences, General Director of PC «Ulyanovsk Research Institute of Aviation Technology and Production Organization», head. CFR. "technology for blanking and stamping production" UlSTU, Ulyanovsk

2 – Head of sector PC «Ulyanovsk Research Institute of Aviation Technology and Production Organization», Ulyanovsk

Abstract. The article describes the process of modeling the development of technology for the transverse flanging of holes during profile forming in rollers using the LS-DYNA program. The calculation of profile deformation under load is described. The process of lateral flanging of holes in the rollers is simulated. Based on the simulation results, an analysis of the results obtained is made: geometry, section, profile surface quality. A design documentation was developed and released for the technological equipment of the transverse flanging of holes, recommendations are given on the design of the installation for the implementation of the process.

Key words: Modeling, profile, flanging, LS-DYNA.

При отработке новых технологий АО «Ульяновский НИАТ» начиная с 2010 г. использует коммерческую версию программы динамического анализа LS-DYNA [2]. В этой программе был смоделирован рассматриваемый

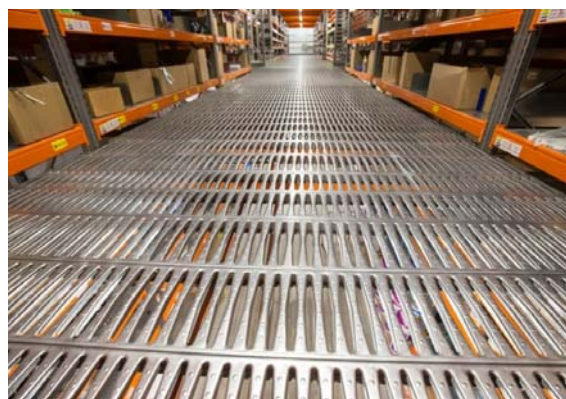
процесс изготовления профиля, совмещенный с поперечной отбортовкой отверстий в роликах.

Профиль «Просечная половица» (рис. 1), применяющийся в изготовлении металлических стеллажных и складских системах, имеет С-образное сечение с ребрами жесткости по донной части и пуклёвками противоскольжения по плоскости. Существующий процесс изготовления включает в себя следующие технологические операции:

- пробивка отверстий в ленте в штампе;
- прокат профиля;
- поперечная отбортовка в готовом профиле в штампе.



а



б

Рис. 1. Профиль «Просечная половица»: а – готовый профиль, б – напольное покрытие из профиля в складском помещении

Согласно техническому заданию был разработан и смоделирован процесс отбортовки предварительно пробитых отверстий в донной части профиля в установке роторного типа, позволяющий заменить операцию отбортовки в штампе. Установка размещена после профилегибочного станка. Устройство ротора должно иметь привод с частотным регулированием скорости вращения валов и движения профиля, с целью точного попадания пуансонов и матриц в предварительно пробитые пазы заготовки.

На начальном этапе моделирования были рассмотрены форма и размеры отбортовки в профиле. Так как данный профиль применяется для напольного покрытия в складских помещениях и должен выдерживать большие нагрузки при перемещении складироваемых материалов, был проведен расчет деформации профиля под нагрузкой.

В качестве исходных данных представлены следующие виды профилей:

- 235x60x28 трапециевидная форма отбортовки (рис. 2)
- 235x60x28 прямоугольная форма отбортовки (рис. 3)

LS-DYNA keyword deck by LS-PrePost

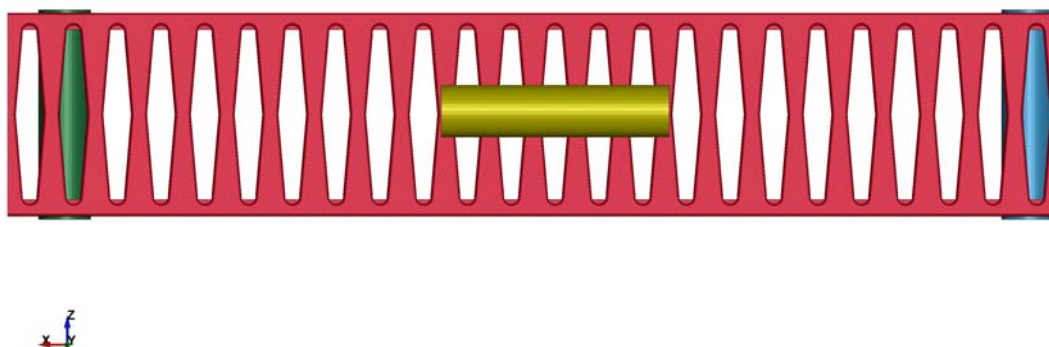


Рис. 2. Трапецевидная форма отбортовок

LS-DYNA keyword deck by LS-PrePost

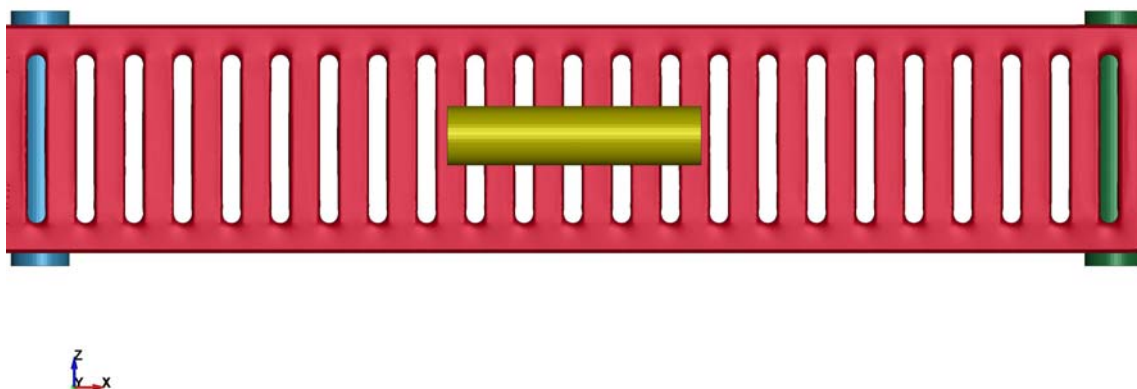


Рис. 3. Прямоугольная форма отбортовок

Усилие прикладывается к точке середины профиля через цилиндр длиной 460 мм. диаметром 60 мм., края профиля опираются на неподвижные цилиндры, с расстоянием между ними 1200 мм.

Проведенные расчеты позволили проанализировать и сравнить деформацию профилей и прилагаемое к ним усилие. Для прогиба профиля на 25-30 мм.(рис. 4) с трапецевидной формой отбортовки потребовалось усилие в 7,7 кН на рисунке 6 линия В, для профиля с прямоугольной формой отбортовки (рис. 5) усилие в 9 кН на рисунке 6 линия А. Данные результаты показывают, что профиль с прямоугольной формой отбортовки выдерживает нагрузку на 17% больше относительно профиля с трапецевидной формой отбортовки.

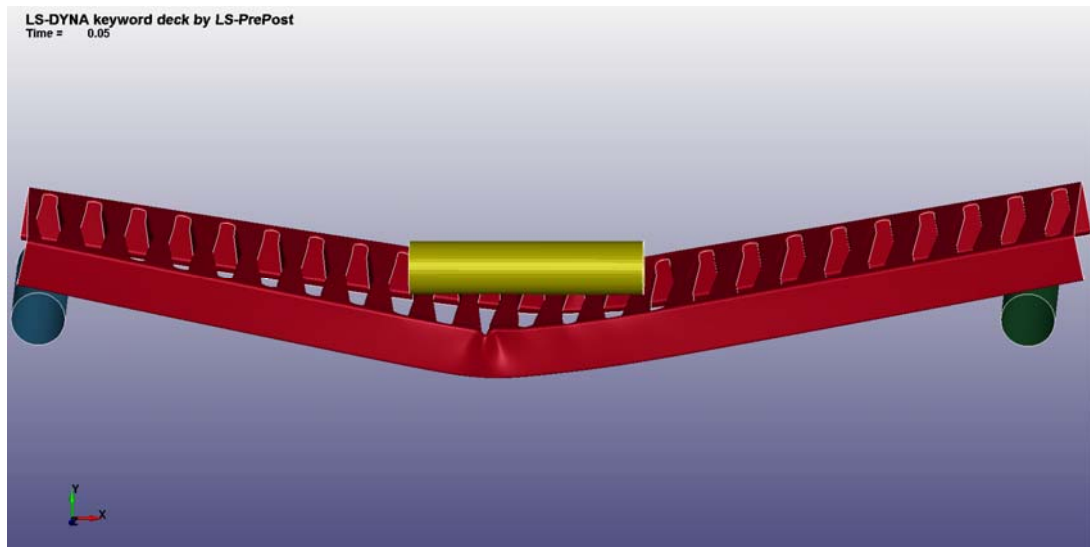


Рис. 4. Прогиб профиля с трапециевидной формой отбортовки

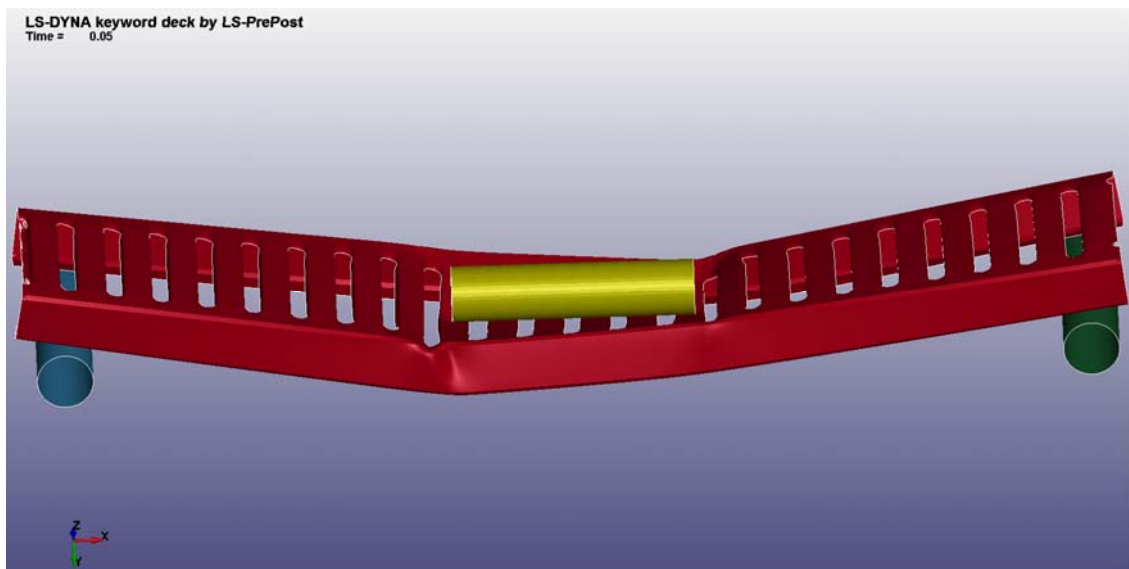


Рис. 5. Прогиб профиля с прямоугольной формой отбортовки

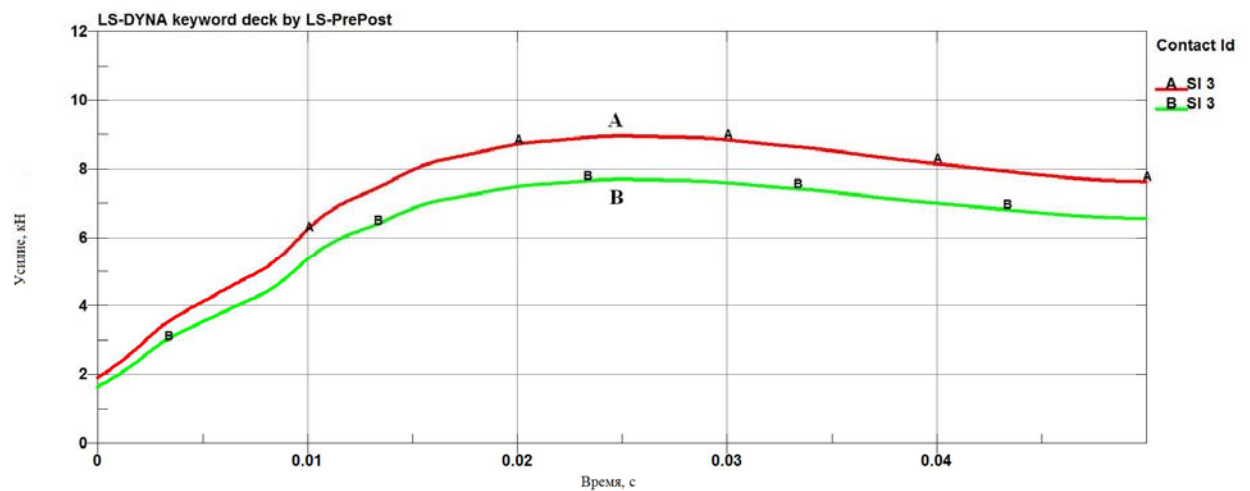


Рис. 6. График зависимости прогиба профиля от прилагаемых нагрузок

Учитывая полученные результаты по усилиям и более технологичную в изготовлении оснастку, было принято решение использовать отбортовку прямоугольной формы.

При моделировании были заданы следующие исходные параметры: определены размеры и форма пазов в заготовке (Рис. 8); модели материалов заготовки и роликов; материал заготовки задавался пластической кинематической моделью (MAT 3) материал роликов задавался твердой моделью (RIGID 20). Параметры модели заготовки соответствовали материалу Ст3пс, а роликового инструмента – 9ХС. Тип контактного элемента: заготовка – формирующие ролики – *CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE. Была создана 3D модель гибочного блока (рис. 9).

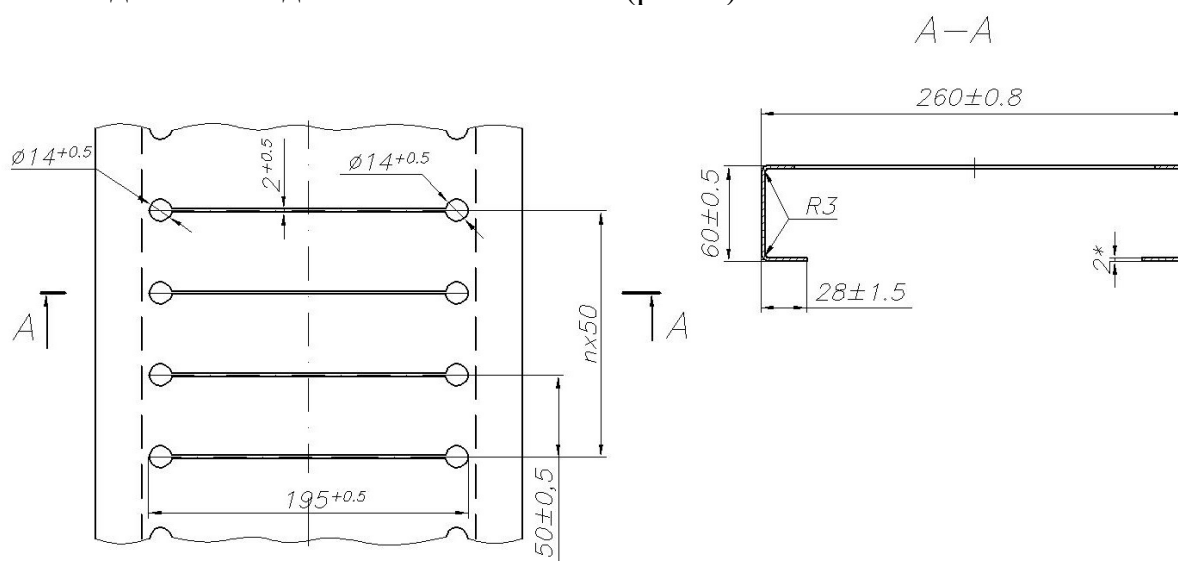


Рис. 8. Размеры и форма пазов в заготовке

LS-DYNA keyword deck by LS-PrePost

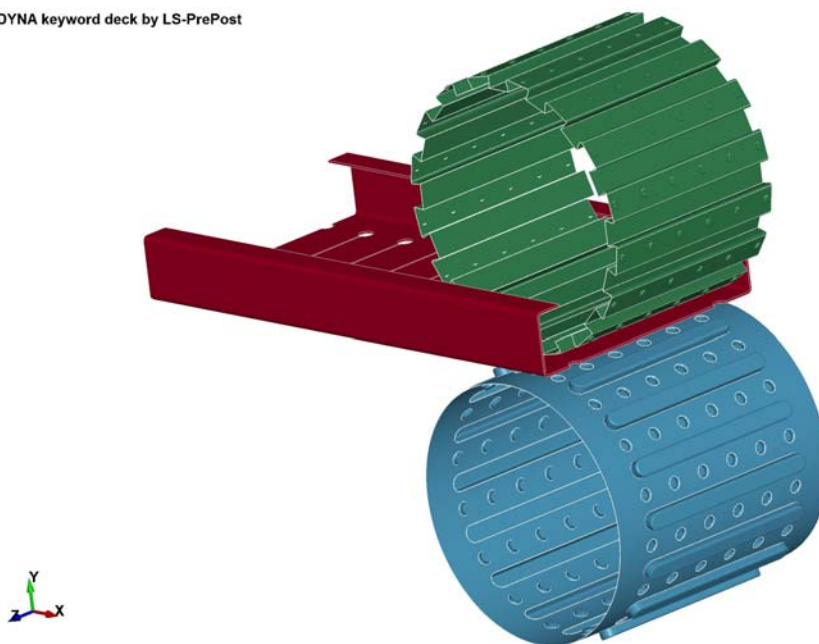


Рис. 9. 3D модель в Ls-PrePost

В программе LS-DYNA было проведено моделирование процесса отбортовки отверстий в профиле. Смоделировано и рассчитано с использованием метода конечных элементов осуществляется по следующему технологическому маршруту. Заготовка в виде профиля с пробитыми пазами и отверстиями прокатывается через приводной гибочный блок. Захват профиля осуществляется благодаря деформации заготовки верхним и нижним роликом. На ролики задавались угловые скорости, соответствующие скорости и направлению проката. Движение заготовки через гибочный блок происходило под воздействием сил трения, возникающих в процессе подгибки элементов полок, что полностью соответствует реальному процессу.

Проведен анализ полученных результатов: геометрии, сечения. качества поверхности профиля (рис. 10). Благодаря этому можно визуальное оценить качество поверхности профиля, произвести замеры изменения сечения профиля, углы пружинения.

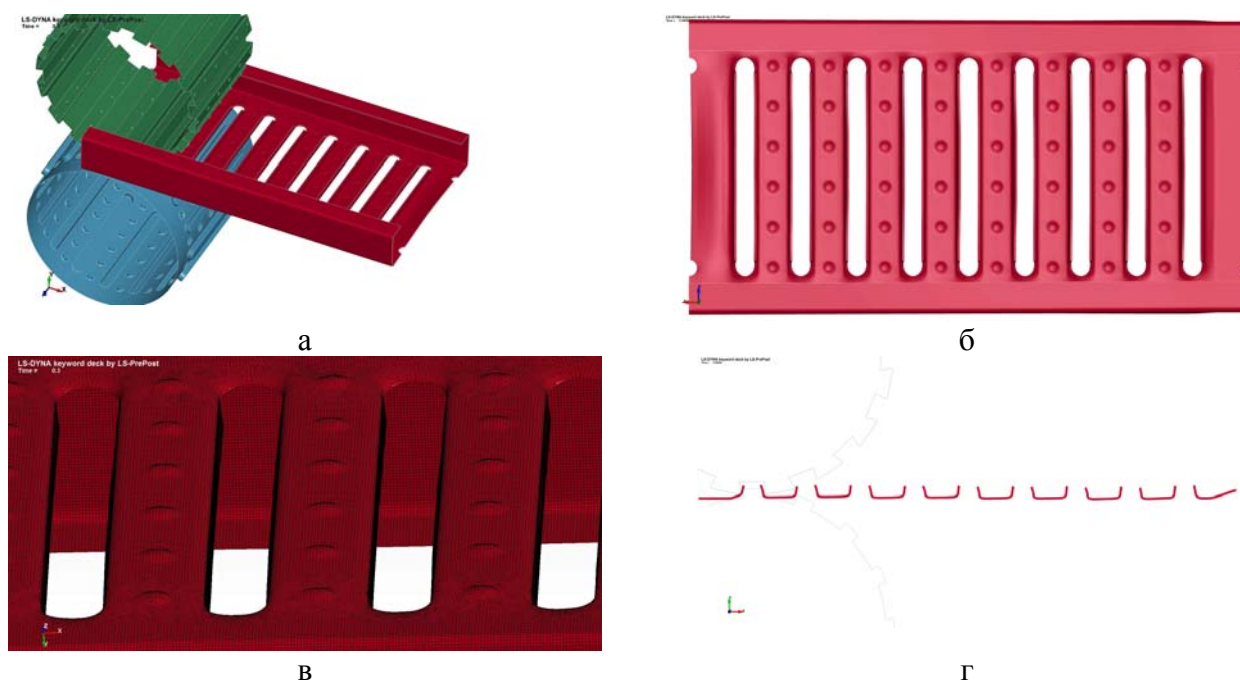
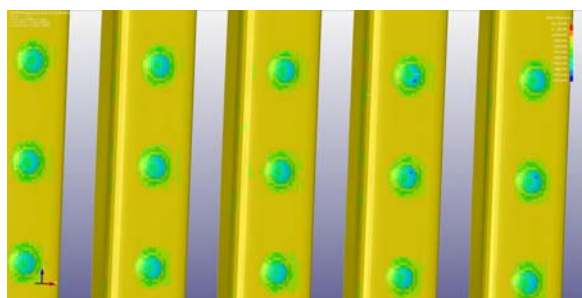
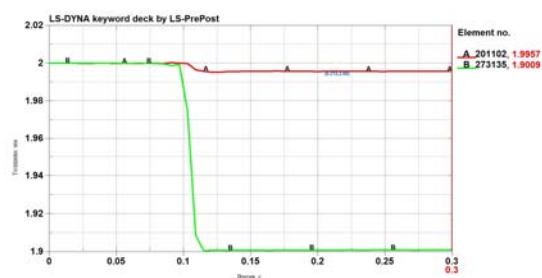


Рис. 10. Профиль после проката через гибочный блок: а – общий вид, б – вид сверху, в – вид снизу, г – сечение отбортовок

Был проведен анализ изменения толщины профиля (рис. 11), который показал наибольшее утонение в зоне формовки пуклёвок до 1.9 мм. при толщине профиля 2мм., в радиусных зонах гибки происходит незначительное изменение толщины до 1.99 мм.



а



б

Рис. 11. Замер толщины: а – контрольные элементы
б – график изменения толщины

Проанализированы НДС элементов профиля при прокате (рис. 12). Для предварительного расчёта мощности привода, были взяты результаты величины крутящего момента (рис. 13).

Расчет мощности привода гибочного блока осуществлялся по формуле:

$$N = \frac{M \times n}{9550} [1]$$

M (крутящий момент) = 10 кН*м

n (количество оборотов в минуту) = 10

$$N = \frac{10000 \times 10}{9550} = 10,47 \text{ кВт}$$

Мощность электродвигателя 11 кВт. Передаточное отношение редуктора 1:100

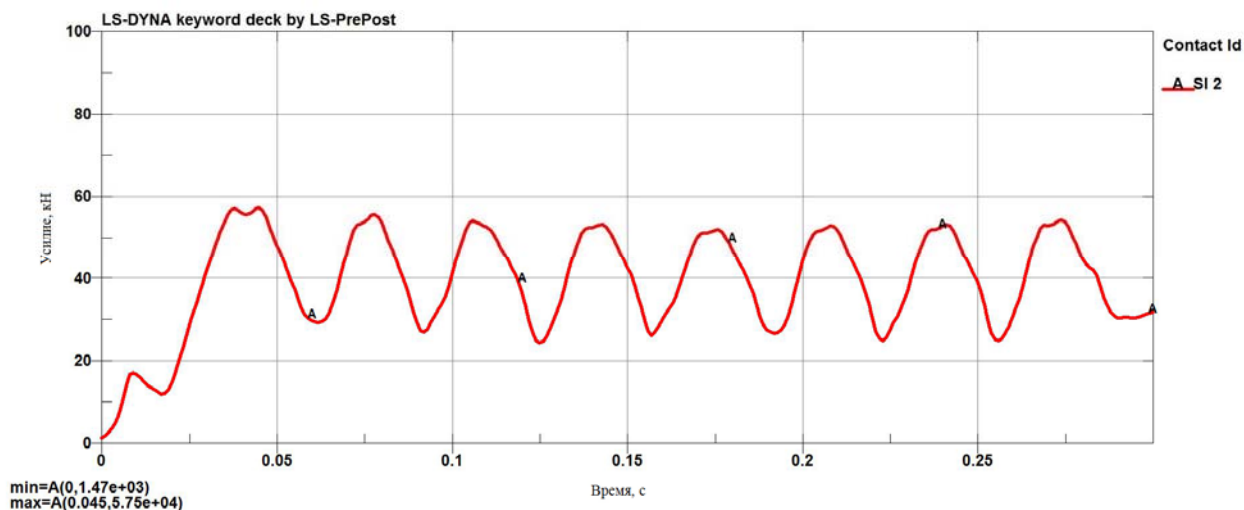


Рис. 12. График усилия

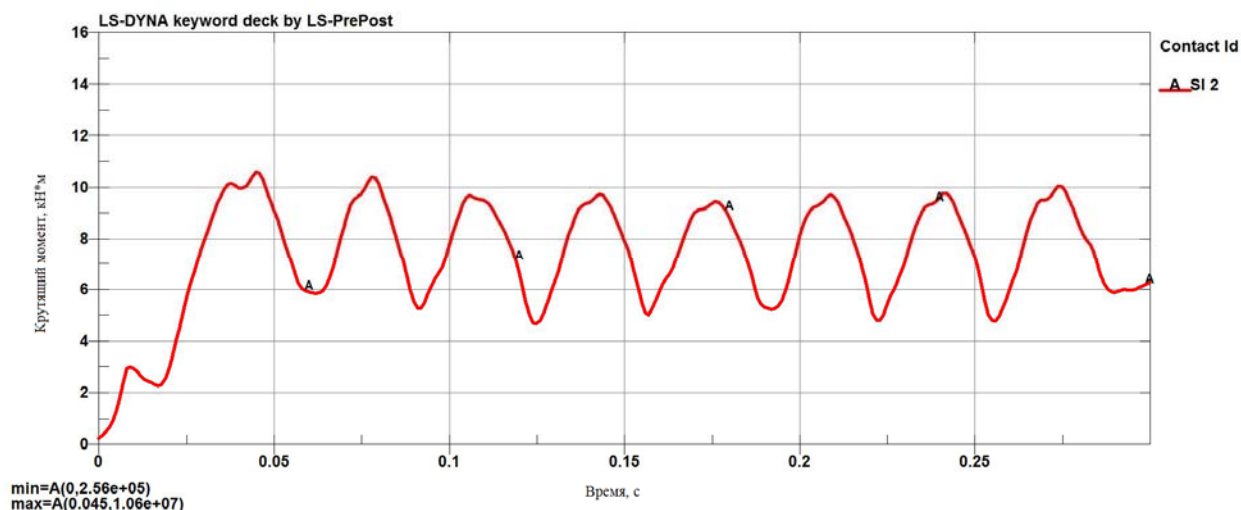


Рис. 13. График крутящего момента

По результатам проведенного моделирования разработана технология процесса поперечной отбортовки отверстий при формообразовании профиля в роликах с использованием программы LS-DYNA.

Установлены рекомендуемые режимы процесса профилирования для получения бездефектных профилей. На основе полученных при моделировании результатов, определена получаемая геометрия и качество поверхности профиля, определены энергосиловые параметры процесса деформирования.

В результате проведенной работы была разработана и выпущена КД на технологическую оснастку поперечной отбортовки отверстий, даны рекомендации по конструкции установки для осуществления процесса.

Библиографический список

1. Давыдов В.И., Максимов М.П. Производство гнутых тонкостенных профилей методом профилирования на роликовых станках / Давыдов В.И., Максимов М.П. Изд. 2-е, доп. И перераб. - М., Metallurgizdat, 1959. 240 с. с ил.
2. Илюшкин М.В. Моделирование процессов обработки металлов давлением (осадка цилиндрической заготовки): учебно-методическое пособие / М.В. Илюшкин. – Ульяновск: УлГУ, 2013. – 112 с.1
3. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. — 6-е изд., перераб, и доп. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979.— 520 с., ил.
4. <https://youtube/BnuW6WvwbW8>

УДК 539.3

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ОБВОДООБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Михеев В.А.¹, Сурудин С.В.², Разживин В.А.³, Роберто Де-Алваренга⁴

1 – д.т.н., профессор кафедры обработки металлов давлением Самарского университета, г.Самара;

2 – к.т.н., доцент кафедры обработки металлов давлением Самарского университета, г.Самара;

3 – аспирант Самарского университета, г.Самара;

4 – магистр Самарского университета, г.Самара .

Аннотация. Автоматизированная система производства обводообразующих элементов летательных аппаратов предусматривает интеграцию безконтактного оптического измерителя деформаций методом корреляции цифровых изображений (Digital Image Correlation – DIC), который позволяет отследить распределения пластической деформации при сравнении с результатами математического моделирования. Используются современные инструменты имитационного моделирования и идея цифрового двойника. Для метода DIC выбраны характерные точки поверхности оболочки двойной кривизны.

Ключевые слова: автоматизированная система, обтяжной пресс с программным управлением, кинематическая схема формообразования обтяжкой

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM OF PRODUCTION FOR THE CONTOUR -FORMING ELEMENTS OF AIRCRAFT

Mikheev V.A.¹, Surudin S.V.², Razzhivin V.A.³, Roberto De-Alvarenga⁴

1 – d.t.s., professor department of metal forming Samara National Research University.

2 – Ph.D., associated department of metal forming Samara National Research University.

3 – graduate student of Samara National Research University.

4 – master of Samara National Research University.

Abstract. The automated production system for contour -forming aircraft elements provides for the integration of a non-contact optical deformation meter by the method of digital image correlation (Digital Image Correlation - DIC), which allows you to track the distribution of plastic deformation when compared with the results of mathematical modeling. Modern simulation tools and the idea of a digital double are used. For the DIC method, characteristic points of the surface of the shell of double curvature are selected.

Key words: automated system, stretch forming press-machine with programmed control, kinematic scheme of stretch forming

Введение

На сегодняшний день автоматизация производственных процессов продвинулась далеко вперед. Производится большая модернизация, разработано множество систем управления и слежения за работой оборудования, работу контролируют множество датчиков и приборов, многие процессы теперь выполняются автоматически. Информация, производимая ежедневно на таких предприятиях, измеряется в терабайтах. Для контроля и анализа работы оборудования требуется отработать этот объем рабочих данных, а традиционные методы обработки информации уже не являются эффективными. Поэтому разработка автоматизированной системы производства, анализирующей большой поток сведений в реальном времени, является на сегодня актуальной задачей [1].

В поисках решения для работы с возможностью контроля системы, обработкой показателей, прогнозирования и при этом минимизации любых потерь, появилась и идея цифрового двойника. Цифровым двойником называют виртуальный прототип реального производства, группы оборудования или технологических процессов, суть которого заключается в сборе и повторном использовании цифровой информации. При этом цифровой двойник не ограничивается сбором рабочих данных, полученных на стадии разработки и изготовления производственного объекта. Он продолжает агрегировать рабочие данные в течение всего жизненного цикла объекта. Это могут быть данные о состоянии, показатели датчиков, история операций, заводская (as-build) и сервисная (as-maintained) конфигурация, версия программного обеспечения и многое другое.

Цифровой двойник хранит всю историю рабочих данных. Это даёт дополнительные возможности для технического обслуживания оборудования и позволяет увидеть всю картину целиком. Практически цифровой двойник представляет собой программно-аналитический комплекс, повторяющий данные с контролируемого устройства и способный анализировать информацию, хранить ее и выдавать рекомендации пользователю. Таким образом, применяя его, повышается точность необходимых вычислений данных при контроле производственного процесса [2].

Разработки новых типов самолётов имеются в России, но возможности производства и существующее гидравлическое обтяжное оборудование значительно отстают от зарубежного уровня автоматизации. Такой уровень автоматизации опирается на использования электронных макетов деталей обшивок, узлов и агрегатов, использование оборудования с программным управлением ЧПУ и технологических электронных макетов, которые могут решать конкретные производственные задачи. Проектирование технологических задач должно осуществляться с использованием прикладных систем, причём исходная информация деталей, узлов, агрегатов и изделия в целом будет передаваться в виде электронных макетов и должна поддерживаться информационной средой подготовки производства. Однако из-за отсутствия на отечественных предприятиях информационной среды

они стали заложниками зарубежного программного обеспечения, которое поставляется, в том числе вместе с обтяжным оборудованием нового поколения. Для решения этих проблем необходимо разрабатывать автоматизированную систему производства обводообразующих элементов летательных аппаратов применительно к обтяжным прессам с программным управлением.

Переход от системы данных к системным моделям при разработке способов формообразования обтяжкой

В управлении автоматизированным оборудованием предлагается применить математические модели обоих типов: модели расчетных данных и модели систем. К моделям данных относятся результаты аналитических расчётов самого процесса формообразования обтяжкой. Модели систем допускают возможность работы в различных системах реального времени (операторские, инженерные и диагностические). Они составляют ядро современного этапа развития математического моделирования, несмотря на то, что каждый из отмеченных выше типов модели имеют свои области применения. Однако на практике желательно использовать результаты расчетов полученных по принципу систем данных для моделирования отдельных технологических процессов. Полученные расчётные данные процесса формообразования обтяжкой будем использовать как дополнительные данные для конечно-элементного моделирования. Это позволило быстро найти её практическую применимость.

Известно, что признаком процесса формообразования обтяжкой листовой заготовки являются деформации в характерных точках поверхности оболочки двойной кривизны. Они обеспечивают сопоставимость результатов расчетной методики и результатов компьютерного моделирования. Для компьютерного моделирования можно использовать программу конечно-элементного анализа PAM-Stamp французской фирмы ESI Group или многоцелевую программу конечно-элементного анализа ANSYS/LS-DYNA американской компании LSTC.

Данный переход из одной системы в другую использует идею метода конечных элементов. Эта идея состоит в том, что в любую непрерывную величину, например деформацию, можно аппроксимировать дискретной моделью, которая состоит из множества числовых значений на конечном числе подобласти, называемых элементами. В общем случае эти числовые значения заранее не известны. Их нужно определить только в некоторых точках области, которыми мы назвали характерными точками поверхности оболочки двойной кривизны.

Дискретную модель очень легко построить, если сначала предположить, что числовые значения деформаций известны в некоторых характерных точках. Их можно получить с помощью аналитической методики. При переходе к моделям систем рассматривается фиксированное число точек, в которых известно значение деформаций. Для определения

значений деформаций в других точках переходим к построению дискретной модели, где фиксируются элементы, которые в совокупности аппроксимируют определённые области поверхности оболочки двойной кривизны. Это позволит обеспечить наилучшее приближение к истинному распределению деформации при использовании конечно-элементной модели.

Регулирование осуществляется путём минимизации некоторой функции, которая связана с кинематикой процесса формообразования обтяжкой. Определить место расположения конечных элементов, которые соответствуют характерным точкам поверхности оболочки, установленной в расчётной методике, не представляет никаких проблем. Однако имеется разница между различными методами. Чтобы включить результаты расчетов в единую категорию исследования, необходимо обеспечить кинематическую привязку способа формообразования обтяжки к рабочим органам выбранного обтяжного пресса.

В программах конечно-элементного анализа можно моделировать процесс формообразования обтяжкой полностью. Создаются объемные модели обтяжного пуансона, объемные модели губок и зажимов, рабочих элементов пресса, а также параметры, учитывающие особенности самого процесса, например, разнотолщинность оболочки после формообразования обтяжкой.

Требуется разработать инструментарий для перевода координат элементов зажима в параметры рабочих органов пресса и наоборот – параметры в координаты. Кроме того необходимо иметь кинематическую модель обтяжного пресса, которая позволит наблюдать положение рабочих органов пресса в каждом кадре управляющей программы. Поэтому появилась возможность выполнять необходимую корректировку параметров управляющей программы непосредственно в программной среде Unigraphics по результатам моделирования того или иного способа обтяжки с помощью программного комплекса PAM-Stamp или ANSYS/LS-DYNA. Поэтому разработка автоматизированной системы производства обводообразующих элементов летательных аппаратов стала возможной, используя современные инструменты имитационного моделирования. Предложен кинематический метод обеспечения подготовки управляющих программ, реализующие новые способы формообразования обтяжкой.

Результаты моделирования кинематической схемы формообразования обтяжкой на обтяжном прессе

В рассматриваемой кинематической схеме выполняются друг за другом два этапа формообразования на одном и том же обтяжном пуансоне и на одном и том же прессе с программным управлением типа FEKD при установке зажимов для обтяжки прямолинейной листовой заготовки. Одним из основных требований, предъявляемых к этому способу, является раздельное и последовательное осуществление этапов формообразования обтяжкой, разделенных разгрузкой без освобождения листа из зажимов

пресса. Построение и сборка геометрических 3D моделей пресса FEKD и различное положение его элементов выполнялось в Solid Works [3, 4].

На рисунке 1 представлен первый этап формообразования - схема предварительной обтяжки после обвертки плоской листовой заготовки обтяжного пуансона по формообразующему контуру на полный угол охвата α_k равным 90° . На первом этапе листовая заготовка 1 закрепляется в неподвижных прямолинейных зажимных устройствах 4 и изгибается на полный угол охвата α_k обтяжного пуансона 2 за счет синхронизации движений балансиров и стола пресса типа FEKD (рисунок 1 а). Затем выполняется обтяжка за счет подъема стола пресса 3 при неподвижных балансирах для получения геометрической формы участка оболочки в районе центрального поперечного сечения в окрестности «полюса» (точка А), но желательно без избыточного деформирования плоского участка схода листовой заготовки с обтяжного пуансона (рисунок 1 б). В данный момент в точке А известно значение деформации, которая потребна для рассматриваемой геометрической формы.

Избыточное деформирование при предварительной обтяжке деталей оболочек двойной кривизны двояковыпуклой формы связано с тем, что формообразование в различных сечениях из-за внешнего трения заканчивается не одновременно. При этом процесс формообразования в сечениях ближе к «полюсу» детали сопровождается избыточным деформированием плоского участка схода листовой заготовки с обтяжного пуансона. Поэтому в данный момент известны значения потребной деформации в точке А и избыточной деформации в точке С.

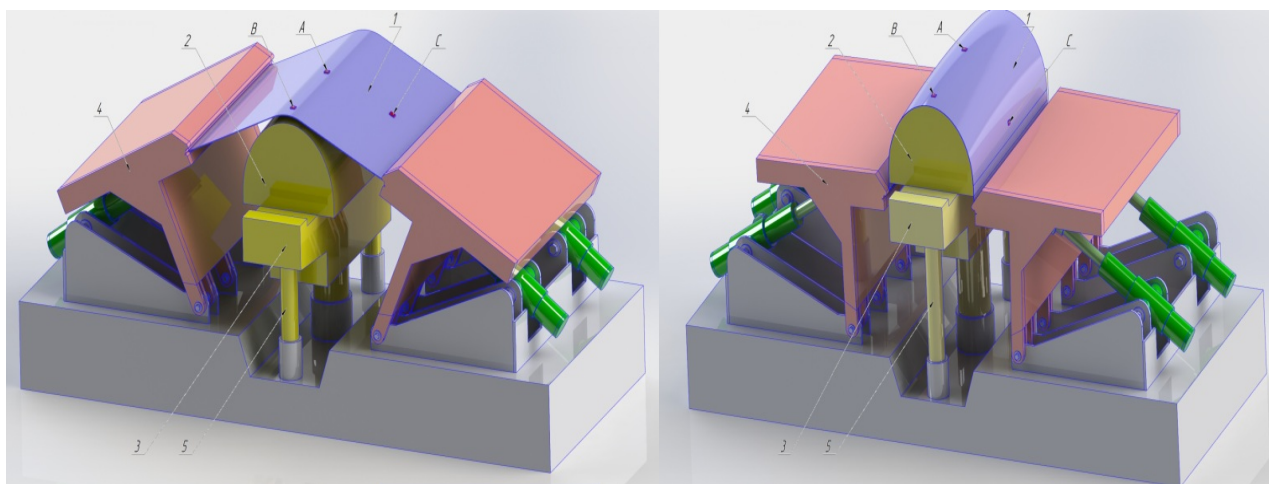


Рис.1. Схема предварительной обтяжки после обвертки плоской листовой заготовки обтяжного пуансона по формообразующему контуру на полный угол охвата α_k , равный 90°

- 1- листовая заготовка; 2 – обтяжной пуансон; 3 – стол пресса; 4 - балансиры с захватами; 5 – рабочие цилиндры стола.

Так как обтяжной пуансон является прототипом детали, то геометрические параметры оболочки можно рассматривать так же как размеры пуансона. При этом радиусы главных кривизн линий контуров, пересекающихся в «полюсе» поверхности оболочки соответственно равны: продольный по формообразующему контуру $R_{1A} = 766$ мм, а поперечный по второй кривизне $R_{2A} = 9187,6$ мм. Прогиб поперечного контура оболочки в точке А равен $f^{(0)} = 71$ мм. Длина формообразующего контура обтяжного пуансона равна 2616 мм, а ширина листовой заготовки равна 2280 мм.

Тогда расчеты для оболочки с приведенными геометрическими параметрами, показали что значение потребной деформации в точке А больше значения избыточной деформации в точке С и составляют соответственно: 0,097 и 0,056. Другими словами наибольшая деформация оболочки при предварительной обтяжке сохраняет свое местоположение в районе «полюса» при минимальной вероятности локализации деформации в районе участка плоского схода листовой заготовки с обтяжного пуансона.

Затем предлагается разгрузить оболочку после предварительной обтяжки и, не освобождая ее из зажимов пресса, осуществить ее разгибание на угол, например равным 15^0 за счет синхронизации движений балансиров и стола пресса FEKD по расчетной траектории. Гауссова кривизна при разгибании поверхности в свободном состоянии сохраняет свое значение, хотя главные кривизны в «полюсе» в окрестности точки А будут меняться. Это понятие играет важную роль в теории тонких оболочек.

На рисунке 2а представлен второй этап формообразования - схема последующей обтяжки детали оболочки изометрической формы с угла разгиба, примерно, равным 15^0 .

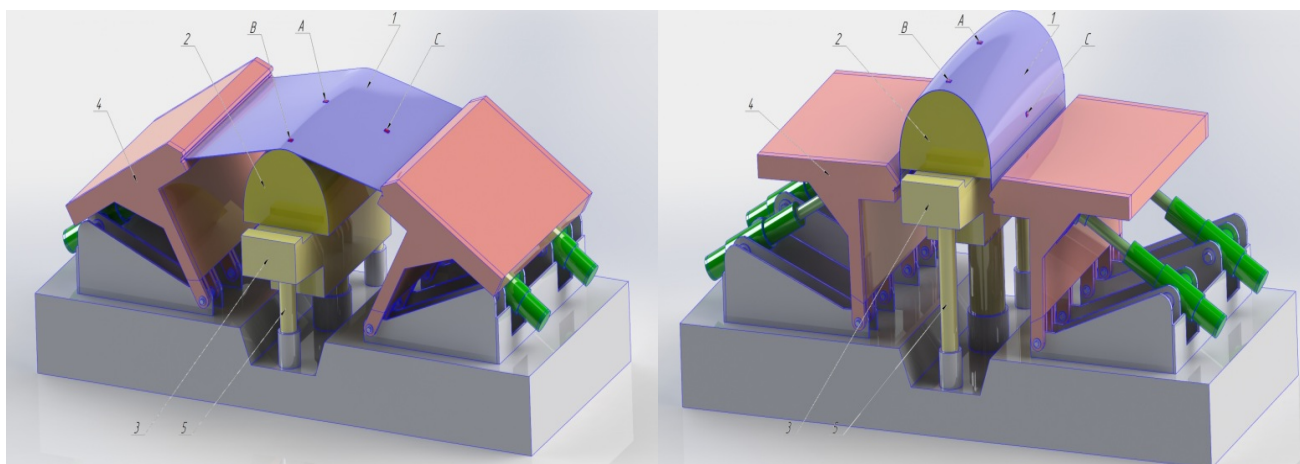


Рис.2. Схема свободного изгибания детали оболочки с окончательным охватом обтяжного пуансона после ее разгрузки до полного прилегания поверхности оболочки к поверхности обтяжного пуансона

1- листовая заготовка; 2 – обтяжной пуансон; 3 – стол пресса; 4 - балансиры с захватами; 5 – рабочие цилиндры стола.

При последующей обтяжке детали оболочки с изометрической формой поверхности с угла, равного 15^0 , обеспечивается растяжение боковых практически недеформируемых участков листовой заготовки, которые касаются поверхности обтяжного пуансона. В результате растяжения боковые свободные участки заготовки в районе точки В начинают прилегать к поверхности обтяжного пуансона. Данное растяжение сопровождается утонением этих участков, и создаются условия выравнивания толщины оболочки в поперечном направлении до момента неполного прилегания поверхности участка «полюса» оболочки к поверхности обтяжного пуансона. Повторное изгибание листовой заготовки с охватом обтяжного пуансона выполняется с с угла, равного 15^0 , на угол, равным 90^0 с конечной фиксации геометрической формы детали оболочки (рисунок 2б). Процесс можно довести до равномерного деформирования всех участков поверхности в окрестностях точек А, В, и С до значения потребной деформации, равной 0,097, что приводит к получению оболочки минимальной разнотолщинности. Точки А, В, и С можно считать характерными точками поверхности оболочки двойной кривизны и предлагается бесконтактное измерение деформаций в характерных точках методом корреляции цифровых изображений.

Бесконтактное измерение деформаций в характерных точках методом корреляции цифровых изображений

Корреляция цифровых изображений (Digital Image Correlation – DIC) – это бесконтактный оптический метод измерения деформации объекта. Для того чтобы измерить деформацию, DIC-метод определяет перемещение поверхности измеряемого объекта во время эксперимента, используя естественный рисунок шероховатости поверхности образца или специально нанесенный на нее спекл-рисунок (рисунок 3). При этом анализируется относительное смещение рисунка поверхности в небольших областях, например, в районе характерных точек поверхности оболочки двойной кривизны. Программное обеспечение вычисляет полное поле деформаций по всей поверхности объекта и его трехмерную форму, что позволяет точно определять области локализации деформации (рисунок 4).



Рис. 3. Нанесение спекл-рисунка

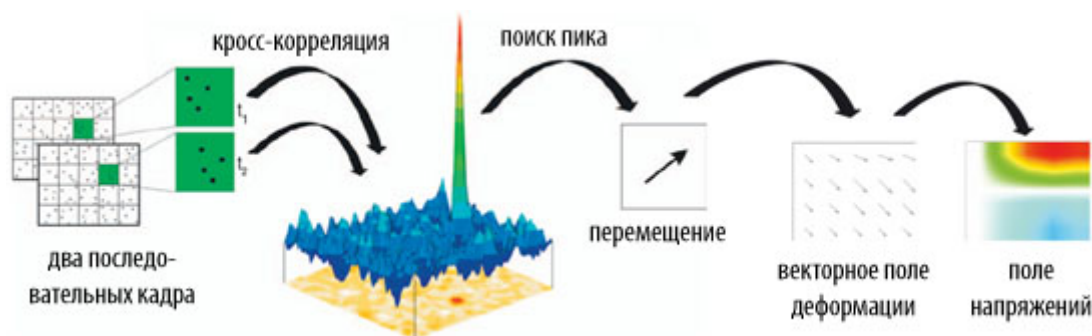


Рис. 4. Процесс корреляции цифровых изображений

Обычно, DIC основывается на максимизации коэффициента корреляции, который определяется интенсивностью массива рассматриваемых пикселей на два и более соответствующих изображениях и извлечением функции проекции деформаций на эти связанные изображения. Однако, существуют другие методы не связанные напрямую с анализом коэффициента корреляции, методы фазовой корреляции. Для нахождения максимума коэффициента корреляции могут быть использованы итеративные методы с использованием нелинейных оптимизационных техник. Как правило, нелинейные оптимизационные техники более просты, но достаточно времязатратны, и эта проблема иногда может быть решена с помощью использования более быстрых и более устойчивых линейных оптимизаций в фазовом пространстве [5]. Метод DIC показал себя как очень эффективное средство для исследования макроскопических механических деформаций поверхности, где применяется отражающие свет маркеры (например, краска, порошок тонера) или обработка поверхности, обеспечивающая необходимый контраст для хорошей корреляции изображений.

Разработка автоматизированной системы производства обводообразующих элементов летательных аппаратов

В качестве автоматизированной системы производства предлагается стандартная двухуровневая иерархическая система управления (рисунок 5), включающая «нижний» и «верхний» уровни аналогично системе управления при отслеживании деформации камерами.

«Нижний» уровень системы состоит из нулевого и первого уровней. Нулевой уровень реализует функции получения и первичного преобразования информации о протекании процесса обтяжки и об оперативном состоянии оборудования. В аппаратном плане этот уровень представлен такими устройствами, как датчики положения, угловые датчики, исполнительные механизмы в виде распределителей [6].

Первый уровень в аппаратном плане представлен программируемым логическим контроллером (ПЛК). Кроме задач регулирования и блокировок, основными задачами нижнего уровня будут являться:

- сбор информации с первичных преобразователей (датчиков);

- первичная обработка информации (масштабирование, подготовка к передаче и т.д.);
- управление исполнительными устройствами, обмен информацией со вторым уровнем системы через устройства связи;
- ретрансляция информации на контролируемые пункты, непосредственная связь с которыми, по ряду причин, невозможна.

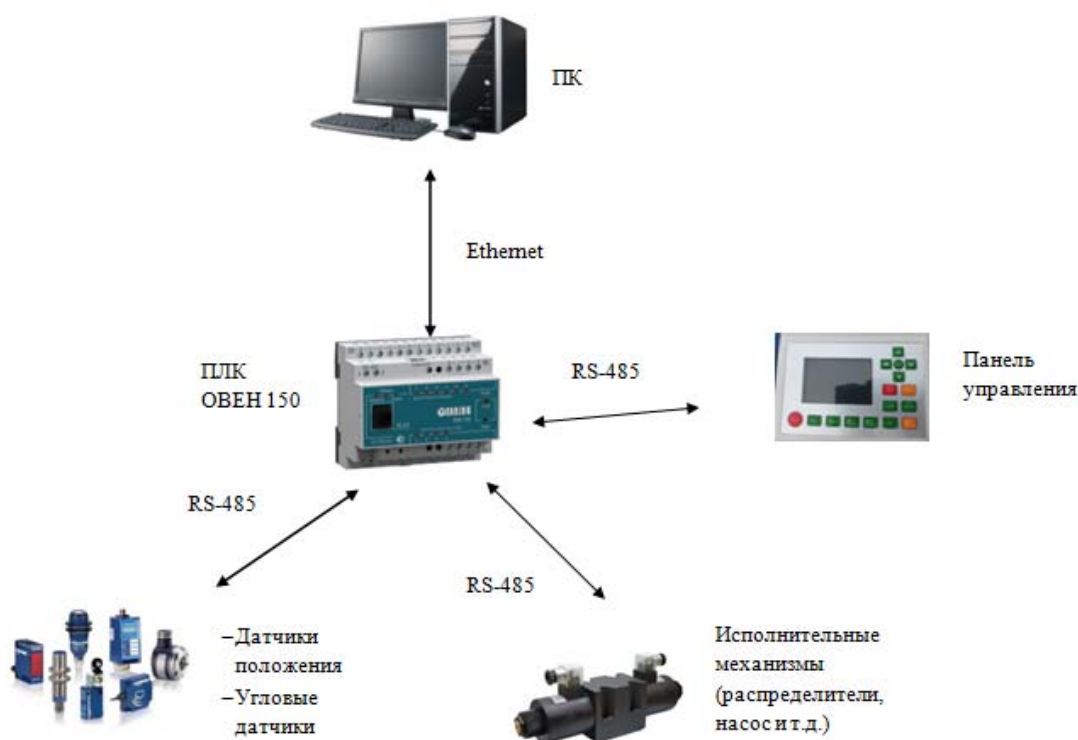


Рис.5. Структура системы управления

Основу «верхнего» уровня системы персональный компьютер (ПК), который предназначен для накопления, хранения, обработки (обобщения) и представления значительных массивов информации [7].

«Верхний» уровень также будет обеспечивать:

- сбор, обработку и хранение информации, поступающей с «нижнего» уровня системы;
- оперативный контроль и управление процессом формообразования обтяжкой;
- хранение информации в базе данных;
- предоставление информации пользователям системы по запросам пользователей.

Непосредственное управление процессом предполагается производить по командам с панели управления либо ПК, с помощью программного обеспечения. Координаты перемещений рабочих цилиндров возможно определить за счет разработки упрощенной 3D модели обтяжного пресса

наиболее близкой к реальному оборудованию или за счет разработанной методики расчета потребной деформации в характерных точках поверхности оболочки двойной кривизны. Для контроля расчетных значений деформации предлагается использование корреляция цифровых изображений (Digital Image Correlation – DIC). Программное обеспечение вычисляет полное поле деформаций по всей поверхности объекта и его трехмерную форму, что позволяет точно определять области локализации деформации (рисунок 6).

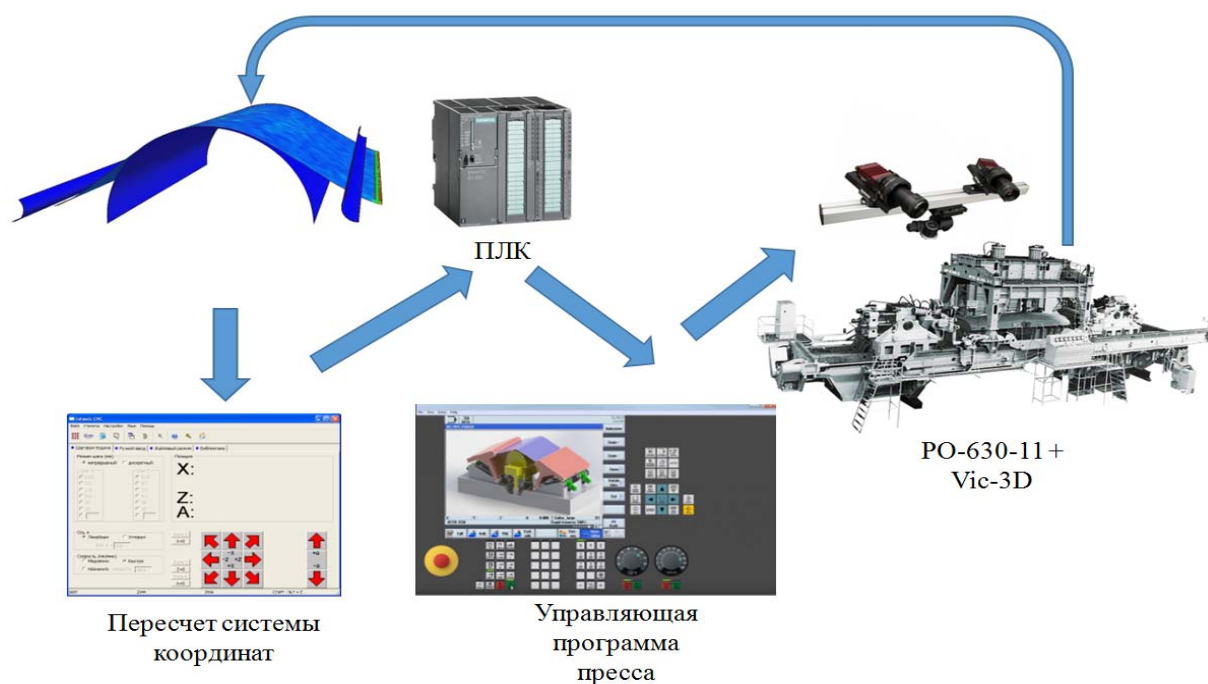


Рис.6. Схема автоматизированной системы производства обводообразующих элементов летательных аппаратов

Взаимодействие между "верхним" и "нижним" уровнем системы управления осуществляется следующим образом: камеры DIC в режиме реального времени отслеживают деформации в характерных точках поверхности оболочки двойной кривизны, затем после первичной обработки, передают информацию на ПЛК. Следующим этапом ПЛК по заранее отложенной программе обрабатывает полученные данные фактической деформации и сравнивает их с расчетными значениями. После сравнения, ПЛК подает сигнал на исполнительные механизмы обтяжного прессы, тем самым управляет их работой. Также ПЛК обменивается информацией с персональным компьютером. Собранный информацию о работе прессы ПЛК обрабатывает и передает на компьютер, где в свою очередь, исходя из полученных данных, может осуществляться отладка управляющей программы для ПЛК.

Заключение

Автоматизированная система производства предложена в виде концепций цифрового двойника обтяжного прессы. Первая концепция

заклучалась в использовании методов бесконтактного контроля деформации. Вторая концепция предполагала использованием универсального программного обеспечения, основанного на сопоставимости результатов расчетной методики и результатов компьютерного моделирования, что позволяет определить значения потребной деформации в характерных точках поверхности оболочки двойной кривизны.

Библиографический список

1. Информационно-аналитический PLM-журнал CAD/CAM/CAE Observer #3(103), 2016. 36-40 с.
2. Информационно-аналитический PLM-журнал CAD/CAM/CAE Observer #6 (114), 2017. 56 с.
3. Михеев В.А., Дементьев С.Г., Самохвалов В.П., Савин Д.В., Сурудин С.В. Изометрические условия при формообразовании обтяжкой оболочки двойной кривизны минимальной разнотолщинности / Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 6. С. 161-166.
4. Михеев В.А., Гречников Ф.В., Дементьев С.Г., Самохвалов В.П., Савин Д.В., Сурудин С.В. Моделирование кинематической схемы последовательной обтяжки оболочек двояковыпуклой формы на обтяжном прессе FEKD / Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 6. С. 172-179.
5. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А.Гаврилова, В.Ф.Хорошевский– СПб: Изд. Питер, 2000. – 384 с.
6. Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Люгер Дж.Ф. – Москва. Изд. «Вильямс», 2003. – 864 с.
7. Щагин, А.В. Основы автоматизации технологических процессов [Текст]: учеб. пособие / А.В. Щагин[и др.]. – М.: Юрайт, 2017. – 163 с.

УДК: 621.771.63

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ В ПРОЦЕССЕ
ФОРМОВКИ В РОЛИКАХ И ПОДГОТОВКИ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА
В ПРОГРАММЕ LS-DYNA**

Поворов С.В.

*к.т.н, доцент каф. «Оборудование и технологии прокатки» МГТУ им. Н. Э. Баумана,
г.Москва*

Аннотация. В статье рассказывается о разработанном программном обеспечении с графическим интерфейсом пользователя предназначенном для автоматизации процесса проектирования поперечных сечений листовой заготовки в процессе формовки в роликах.

Ключевые слова: роликовая формовка, математическое моделирование.

**COMPUTER-AIDED DESIGN OF SHEET BLANK CROSS SECTIONS
DURING ROLL FORMING AND MODEL PREPARATION FOR
CALCULATION IN THE LS-DYNA PROGRAM**

Povorov S.V.

*Docent department «The Equipment and rolling technologies» Bauman Moscow State Technica
University, Moscow.*

Abstract. The article describes the developed software with a graphical user interface designed to automate the design process of cross sections of the leaf blanks in the process of forming in rollers.

Keywords: roll forming, mathematical simulation.

При проектировании роликовой оснастки для формовки металлического профиля из листовой заготовки на профилегибочном стане возникают две сложности. Во-первых, для профилей сложной формы, которые имеют множество мест сгиба, и для формовки которых используется достаточно большое количество клеток, возникает необходимость вычислять размеры и вычерчивать поперечное сечение заготовки в осевой плоскости каждой клетки. А так как процесс проектирования оснастки является итерационным, то эти операции приходится выполнять неоднократно, что требует дополнительных затрат времени. Во-вторых, спрогнозировать поведение заготовки в спроектированных калибрах, и предотвратить возможное образование дефектов достаточно сложно. Это приводит к тому, что заготовка, в изготовленных формирующих роликах, может деформироваться не так, как это было задумано на этапе проектирования, в результате чего возникают различные виды дефектов и приходится вносить изменение в конструкцию роликов перетачивать их или изготавливать заново. Это так же приводит к дополнительным затратам времени и производственных ресурсов. Для прогнозирования поведения заготовки в

процессе формовки хорошо зарекомендовал себя способ математического моделирования. Этот способ позволяет определить напряженно деформированное состояние заготовки в процессе формовки и выявить различные виды дефектов, которые будут возникать при использовании спроектированного инструмента еще до его изготовления [1]. На основе этой информации вносятся изменения в конструкцию формирующих роликов, и повторяется моделирование процесса для новой конструкции, эти действия выполняются до тех пор, пока не будет найдена такая форма роликов, которая будет деформировать заготовку нужным образом. Процесс создания математической модели занимает некоторое время, в зависимости от сложности формируемого профиля, что увеличивает время этапа проектирования, но сокращает время производства и настройки профилегибочной линии и издержки на устранение брака. Таким образом, что бы повысить качество проектирования инструмента профилегибочных станов и сократить время, затрачиваемое на этап проектирования необходимо решить следующие задачи:

- автоматизировать процесс построения поперечных сечений заготовки на промежуточных этапах формообразования,
- автоматизировать процесс создания математической модели процесса формовки.

Для решения этих задач было разработано программное обеспечение с графическим интерфейсом пользователя, который показан на рис. 1. Графическое окно программы содержит следующие элементы:

1. система координат, в которой будут отображаться сечения заготовки;
2. панель «Отображение сечений», для выбора номеров сечений которые будут отображены в системе координат;
3. панель с вкладками: «Сечения», «Ролики», «Ls-Dyna», для ввода данных;
4. меню «Файл», в котором содержатся команды для сохранения данных в файл и загрузки данных из файлов сохраненных ранее.

Все используемые в программе функции и графический интерфейс пользователя разработаны в среде приложения Matlab.

Последовательность работы с приложением следующая. Сначала на вкладке «Сечения» необходимо ввести данные о размерах: углах, радиусах и длинах элементов поперечного сечения проектируемого профиля. Сделать это можно путем добавления в таблицах размеров, которые в начальный момент имеют размерность 1x1, строк и столбцов с помощью контекстного меню. Так же, на вкладке «Режим форм.» нужно ввести данные о способе формообразования, которые необходимы для расчета размеров профиля на промежуточных этапах формообразования как это показано в предыдущих работах [2, 3]. Как известно, для определения положения плоской кривой относительно системы координат нужно задать три величины: координаты x , y начальной точки кривой и угол наклона касательной в начальной точке.

Для этого на панели «Положение системы координат» необходимо указать относительные координаты (о том, что такое относительные координаты, рассказано ниже), с помощью которых будет определено положение профильной линии относительно начала системы координат. Далее, на панели «Заготовка» нужно ввести значение толщины заготовки. После ввода значений описанных выше размеров и параметров программа отобразит в окне системы координат поперечные сечения проектируемого профиля. При изменении значения, какого либо параметра, пересчет размеров и обновление изображения произойдет автоматически. Устанавливая или снимая галочку в окне «Отображение сечений» можно отобразить или скрыть соответствующее сечение на плоскости системы координат.

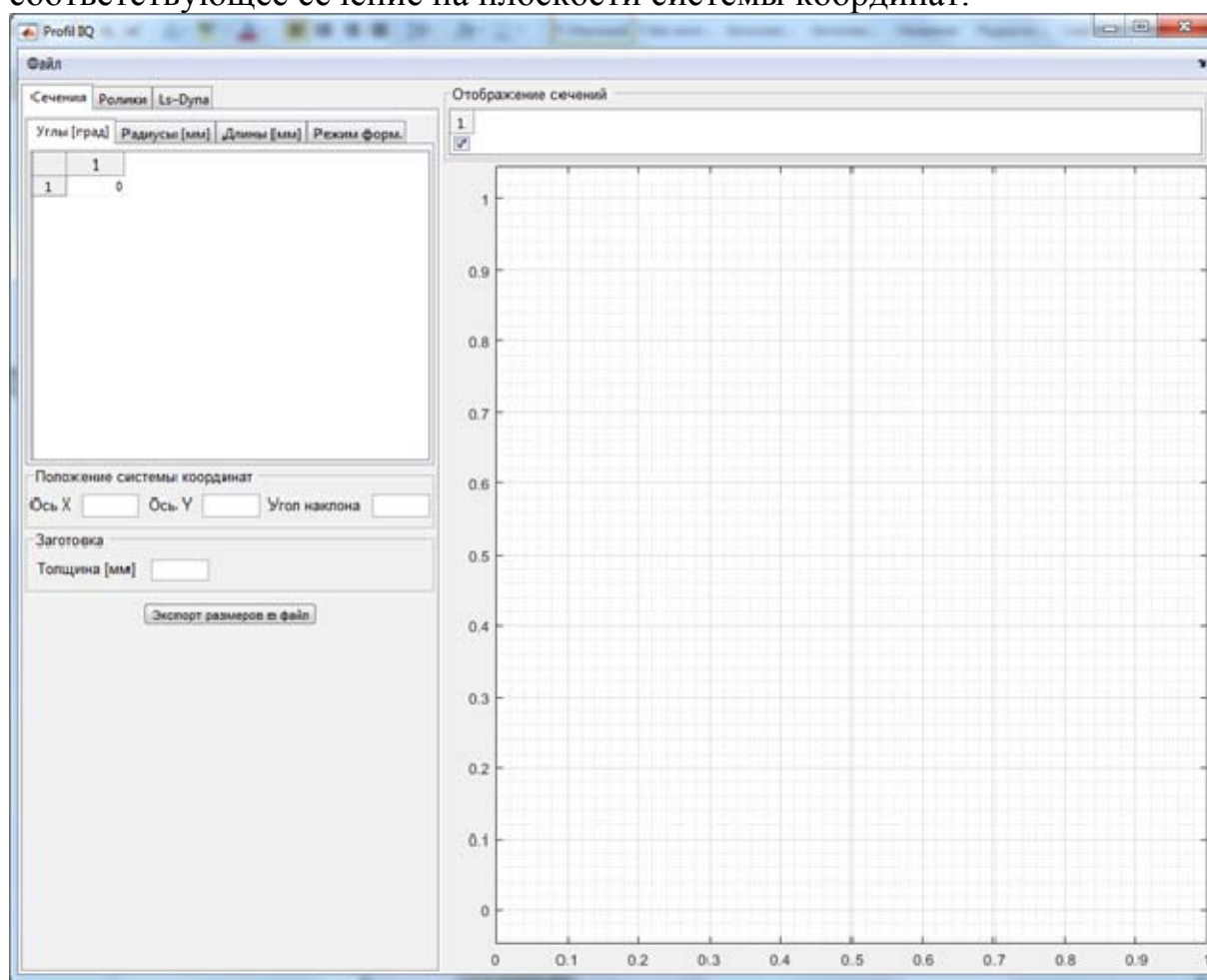


Рис. 1. Внешний вид графического интерфейса пользователя в исходном состоянии

Рассмотрим работу программы на примере проектирования калибровки для профиля в виде швеллера, показанного на рис.2. Профиль, показанный на рис. 2, состоит из пяти элементов: прямолинейные элементы поз. 1, 3, 5 и радиусные элементы поз. 2, 4. Важно отметить, что размеры нанесены на каждый элемент профильной линии, т.е. срединной линии контура

поперечного сечения, значения именно этих размеров вводятся в соответствующие таблицы программы.

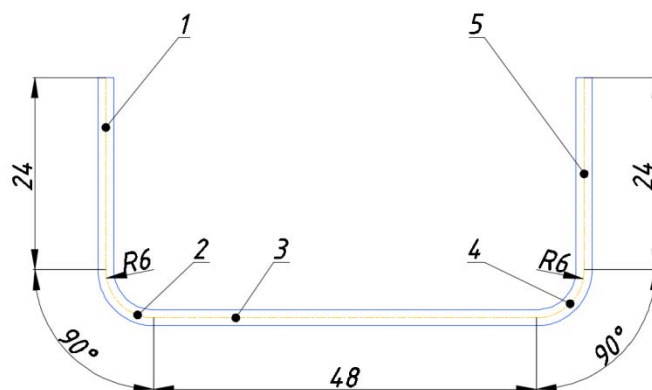
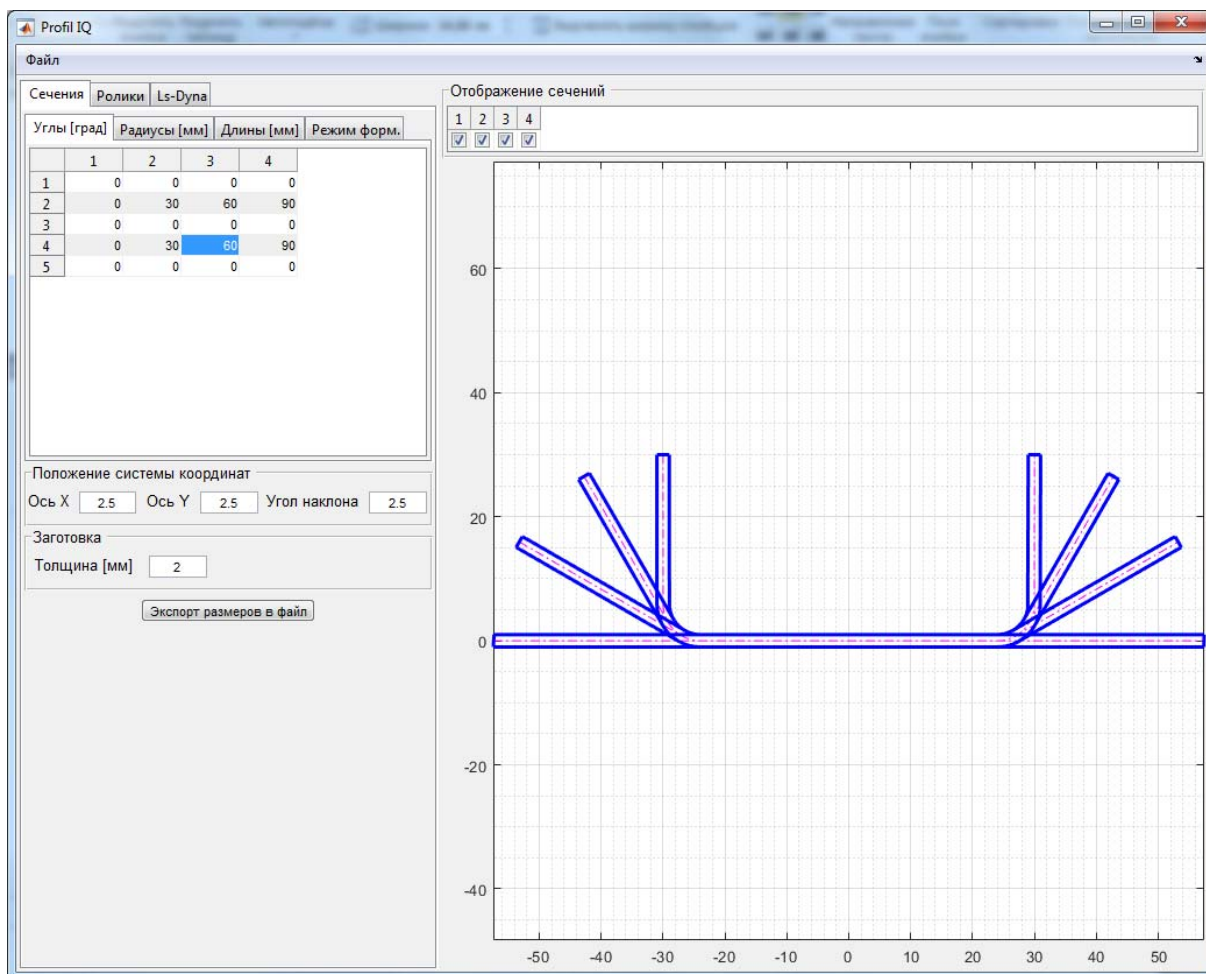


Рис. 2. Демонстрационный профиль в виде швеллера

На рис. 3 показан общий вид окна программы и отдельные вкладки, на которых показаны заполненные таблицы со значениями размеров профиля. В матрицах углов, радиусов подгибки и длин элементов профильной линии номер строки соответствует номеру элемента профильной линии, а номер столбца – номеру сечения. Значение угла подгибки каждого элемента профильной линии определяется как разница между углами наклона касательной в конечной точке данного элемента и в его начальной точке. Из этого следует, что значение угла подгибки может быть как положительным, так и отрицательным. Знак угла подгибки определяет направление, в котором будет происходить поворот, при обходе профильной линии от начальной точки к конечной. Если поворот будет происходить против часовой стрелки, то знак положительный, если против то отрицательный. Для прямолинейного элемента профильной линии углы наклона касательной в конечной и начальной точках совпадают, по этому угол подгибки прямолинейного элемента равен нулю. Значение радиуса прямолинейного элемента тоже вводится в таблицу на вкладке «Радиусы» (рис. 3 б), однако, строго говоря, значение радиуса прямолинейного элемента стремится к бесконечности, но, для удобства использования, в таблицу радиусов нужно вводить значение равное нулю. Значения радиусов (рис. 3 б) и длин (рис. 3 в) элементов указываются только для конечного сечения, т.е. редактируется только последний столбец, значения в остальных столбцах вычисляются автоматически. На вкладке «Режим форм.» указан вектор, который определяет способ формообразования радиусных элементов, подробно о том каким образом это происходит описано в работе [3]. В данном примере формовка происходит при постоянном значении радиуса и постоянной длине стенки профиля поз. 3 на рис.2, а длины подгибаемых полок поз.1 и 5 будут уменьшаться по мере увеличения угла подгибки. Это можно видеть в таблицах на вкладках «Радиусы» и «Длины» на рис. 3 б и 3 в соответственно.

Для определения положения профиля относительно системы координат используются так называемые относительные координаты. Относительная координата связана с нумерацией элементов профильной линии. В начале первого элемента профильной линии относительная координата равна нулю, в конце первого элемента – единице. Значение относительной координаты равное 2.5, введенное в окне программы, указывает на точку, находящуюся на середине третьего элемента профильной линии, т.е. на середине стенки. По отметкам возле осей системы координат можно видеть, что именно эта точка находится в центре координат.



а – общий вид окна программы

Углы [град]	Радиусы [мм]	Длины [мм]	Режим форм.	
	1	2	3	4
1	0	0	0	0
2	6	6	6	6
3	0	0	0	0
4	6	6	6	6
5	0	0	0	0

б – вкладка
«Радиусы»

Углы [град]	Радиусы [мм]	Длины [мм]	Режим форм.	
	1	2	3	4
1	33.4248	30.2832	27.1416	24
2	0	3.1416	6.2832	9.4248
3	48	48	48	48
4	0	3.1416	6.2832	9.4248
5	33.4248	30.2832	27.1416	24

в – вкладка
«Длины»

Углы [град]	Радиусы [мм]	Длины [мм]	Режим форм.
1	2	3	4
1	-1		
2	0		
3	0		
4	1		

г – вкладка
«Режим форм.»

Рис. 3. Проектирование калибровки для профиля в виде швеллера

Для построения контура поперечного сечения в программе заложено математическое уравнение профильной линии и контур, отображаемый в окне, по сути, является графиком функции. Благодаря наличию такого уравнения при дальнейшем развитии данной программы становится возможным реализовать вычисление инерционных характеристик сечений или их частей, координат центра масс и другие характеристики, для определения которых необходимо выполнить интегрирование по длине профильной линии.

После того, как углы подгибки и способы формообразования выбраны, размеры профильной линии в каждой клетке могут быть сохранены во внешний файл для дальнейшей работы в CAD приложении. Для этого нужно нажать кнопку «Экспорт размеров в файл». Программа позволяет сохранить размеры в файл формата электронных таблиц Excel или в текстовый файл формата csv. Файл формата Excel удобно использовать в CAD приложениях, таких как Inventor или SolidWorks, позволяющих создавать параметрические эскизы, в которых размерам могут быть назначены значения, импортированные из внешнего файла. Пример такого файла изображен на рис.4. Из рисунка видно, что данные в файл записываются блоками для каждой клетки. В начале каждого блока записаны координаты начальной точки профильной линии и угла наклона касательной к ней, затем значение толщины, далее для каждого элемента профильной линии записаны по три параметра: длина, радиус и угол.

	A	B	C	D	E	F
1	клетка 1					
2	x0	51,42477795	мм			
3	y0		2 мм			
4	b0		2 град			
5	s0		2 мм			
6	l1	31,42477795	мм			
7	R1		2 мм			
8	A1		2 град			
9	l2		2 мм			
10	R2		5 мм			
11	A2		2 град			
12	l3		40 мм			
13	R3		2 мм			
14	A3		2 град			
15	l4		2 мм			
16	R4		2 мм			
17	A4		2 град			
18	l5	31,42477795	мм			
19	R5		2 мм			
20	A5		2 град			
21	клетка 2					
22	x0	51,22600779	мм			
23	y0	15,94344029	мм			

Рис. 4. Файл формата Excel с размерами элементов профильной линии

Содержимое текстового файла в формате csv имеет аналогичную структуру, но предназначен он для использования в приложении AutoCAD вместе со специально разработанным на языке AutoLisp скриптом, который считывает данные о размерах профильной линии и в автоматическом режиме строит ее в пространстве модели. При этом программа создает отдельный слой для каждой клетки для удобства работы с каждым отдельным сечением.

Результат выполнения данного скрипта показан на рис. 5. На данном рисунке так же видно окно диспетчера слоев, в котором слои с названиями «Клеть 1» – «Клеть 4» созданы автоматически в результате выполнения скрипта.

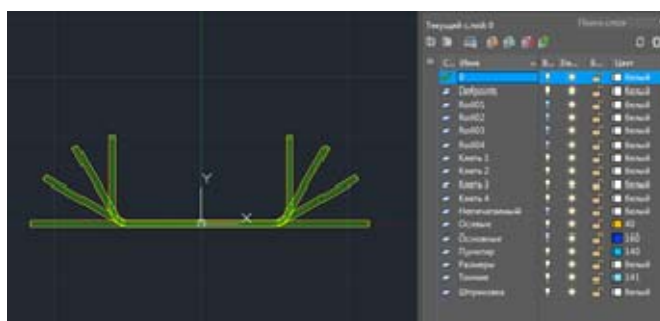


Рис. 5. Фрагмент окна программы Autocad с построенными поперечными сечениями заготовки

После того, как поперечные сечения заготовки воспроизведены в программе AutoCAD, можно приступить к проектированию профилей формирующих роликов используя средства, создания и редактирования геометрических объектов, предоставляемых программой AutoCAD. В процессе проектирования геометрия сечения заготовки используется как опорная, вокруг которой достраиваются, необходимы элементы профиля формирующего ролика.

Перед тем как вычерчивать ролик полностью со всеми конструктивными элементами и оформлять конструкторскую документацию, полезно убедиться в том, что в спроектированных роликах заготовка будет деформироваться так, как это задумано. Для этой цели, как было написано выше, можно использовать математическое моделирование. Важнейшим этапом создания расчетной модели является создание расчетной сетки для геометрических моделей заготовки и роликов. В процессе формовки упругой деформацией роликов можно пренебречь и следовательно при моделировании их можно считать абсолютно жесткими телами и следовательно при моделировании достаточно рассматривать только рабочую поверхность ролика, ту которая в процессе формовки будет взаимодействовать с заготовкой. Для использования разработанной системы автоматизации создания расчетной модели, профиль рабочей поверхности каждого ролика должен быть выполненным с помощью полилинии, как это показано на рис. 6 для формирующих роликов третьей клетки.

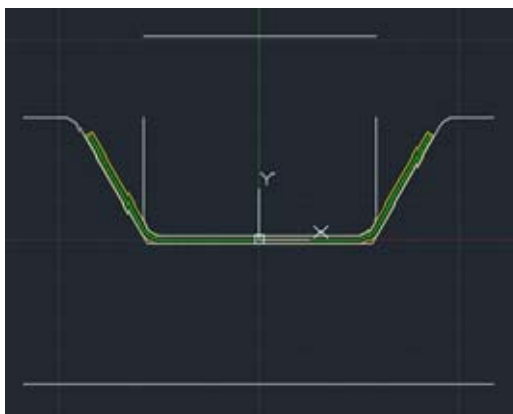


Рис. 6. Пример профиля рабочей поверхности формующего ролика

С помощью специально разработанного на языке AutoLisp скрипта координаты узловых точек полилинии, а так же параметр, характеризующий кривизну элементов полилинии, сохраняются в файл формата Excel. Те же действия нужно выполнить с отрезками осевых линий. Таким образом, для каждого ролика в рабочей папке будут находиться два файла, содержащие данные о профиле рабочей поверхности ролика и о координатах его оси. Данные файлы можно импортировать в программу с помощью кнопки «Указать расположение файлов» расположенной на вкладке «Ролики». На рис. 7 показана таблица с именами файлов, данные которых были импортированы. Каждая строчка таблицы соответствует одному ролику, для которого указаны имена файлов содержащих данные о профиле и оси. В графе «Z коорд.» вводится значение координаты осевой плоскости клетки, к которой относится данный ролик. В графе «Привод» можно установить или снять «галочку», что будет означать, что данный ролик является приводным или холостым соответственно. В графе «Отобр.» можно отобразить или скрыть профиль соответствующего ролика на системе координат, аналогично тому как это делается для профилей сечений заготовки на панели «Отображение сечений».

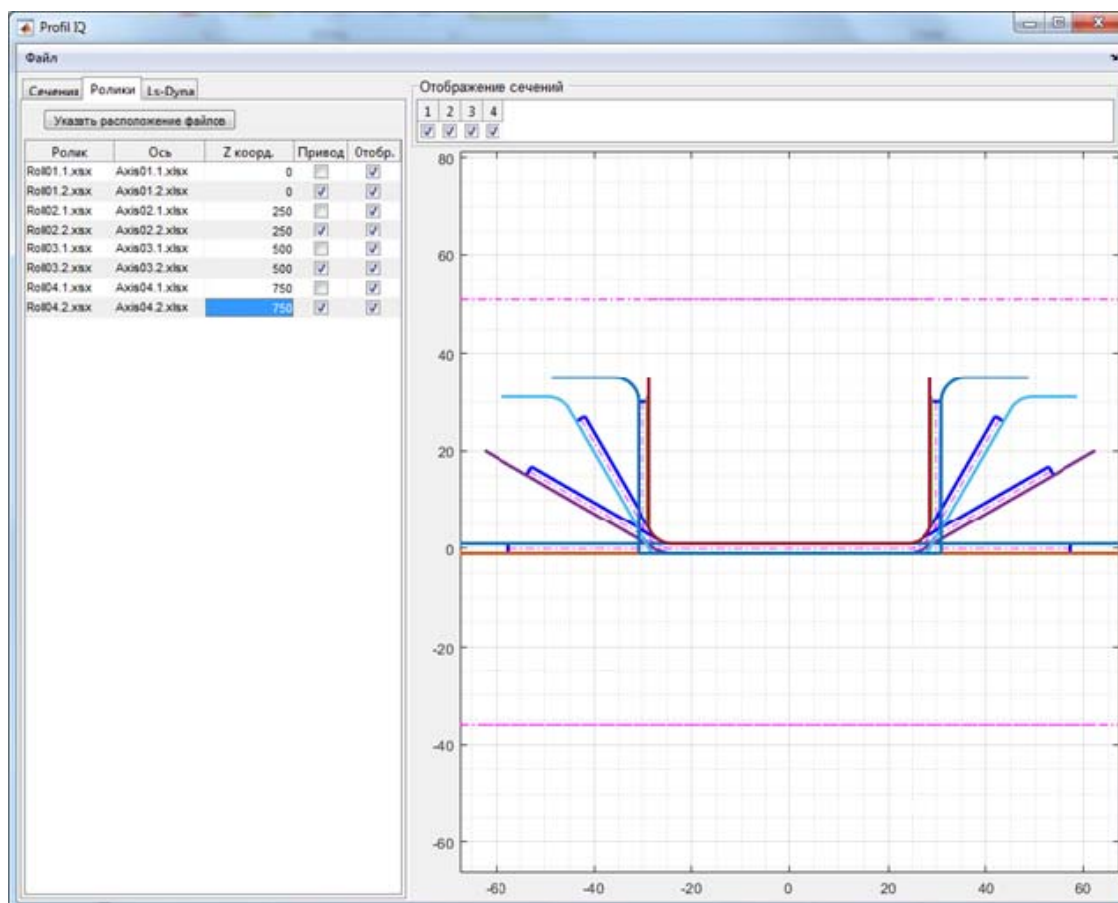


Рис. 7. Таблица с именами импортированных файлов с данными о геометрии роликов

Следующим шагом при подготовке модели является определение значений параметров, необходимых для создания модели, эти параметры приведены на вкладке «Ls-Dyna», показанной на рис. 8. На рисунке видно, что параметры сгруппированы в 5 групп. Первая группа «Параметры сетки», в ней указываются всего три параметра полностью определяющие размеры элементов расчетной сетки заготовки и формирующих роликов. Параметры длина элемента и ширина элемента определяют длины сторон конечного элемента вдоль длины и ширины заготовки. В зоне радиусного изгиба, для большей точности математической модели, ширина элемента должна быть меньше и в данном случае она будет зависеть от угла подгибки радиусного элемента в конечном сечении и параметра «Угловой шаг в радиусной зоне». Например, при подгибке на 90° и угловым шагом равном 30° в радиусной части по ширине будут созданы три элемента. При создании расчетной сетки для роликов величина углового шага элемента вокруг оси ролика вычисляется исходя из максимального диаметра ролика и значения длины элемента, так что бы длина элемента ролика, в месте с наибольшим диаметром, была равна длине элемента заготовки, такое сочетание размеров обеспечивает наилучшую работу контактных алгоритмов программы Ls-Dyna.

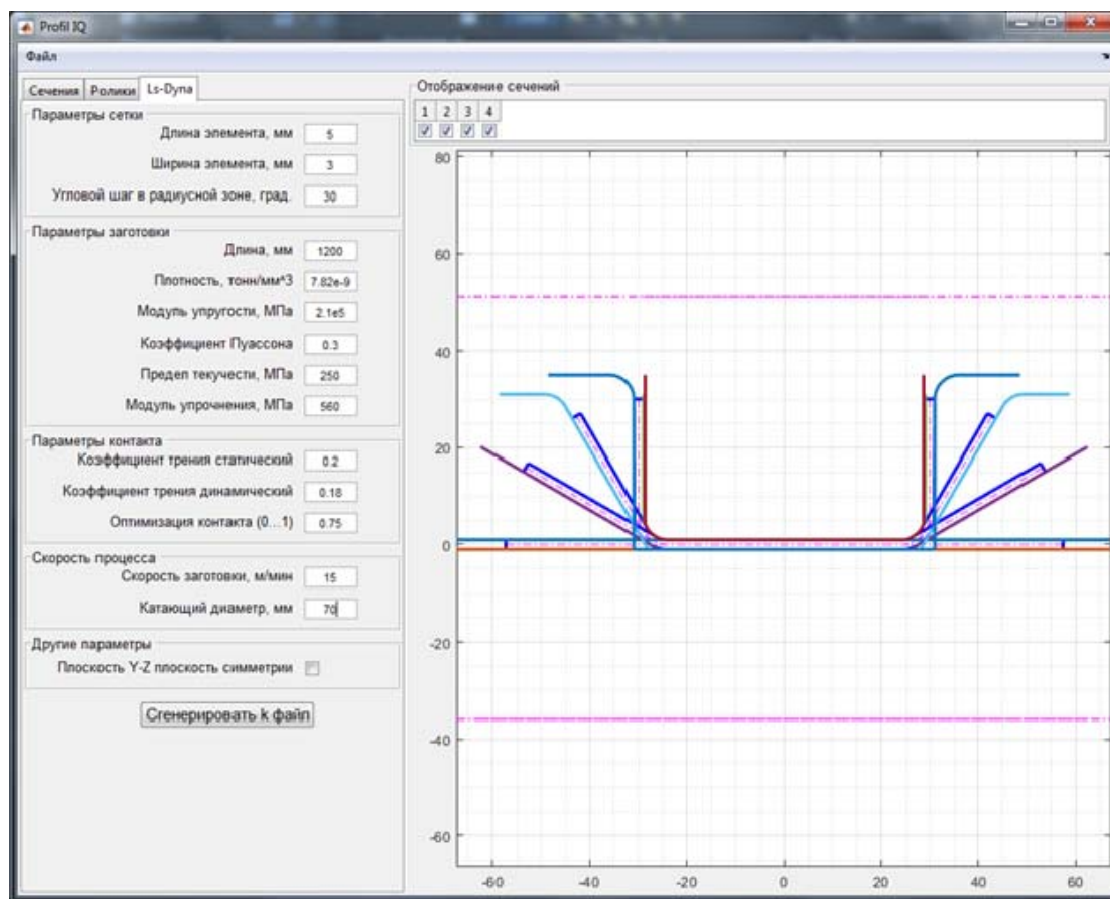


Рис. 8. Содержание вкладки «Ls-Dyna»

Во второй группе параметров указываются длина заготовки и механические характеристики материала, из которого она изготовлена.

В третьей группе указываются значения статического и динамического коэффициента трения и параметр оптимизации контакта. О последнем расскажем подробнее. При моделировании процессов формовки в роликах в программе Ls-Dyna обработка контактных алгоритмов может занимать 50% и более от общего времени решения задачи. При этом в начальный момент времени нет смысла обрабатывать контактный алгоритм между заготовкой и роликами, например, третьей клетки, а начинать обработку этого алгоритма целесообразно тогда, когда передний край заготовки приблизится к третьей клетки и закончить обработку, когда задний край заготовки выйдет за габариты этой клетки. В настройках контактной карты в программе Ls-Dyna есть два параметра: Birth Time и Dead Time, эти параметры отвечают за «рождение» и «смерть» контакта. Задав значения этим параметрам можно определить момент времени, когда каждый контакт будет активирован и деактивирован. Таким образом, удастся уменьшить время на обработку контактных алгоритмов и ускорить процесс вычислений. Для реализации этого способа, при создании каждого контакта, программа вычисляет минимальное S_{min} и максимальное S_{max} расстояние между узлами заготовки и ролика, как показано на рис. 9, и зная скорость заготовки определяет время начала и завершения контакта. Параметр «Оптимизация

контакта» который может принимать значения от 0 до 1 и служит для корректировки вычисленного значения. Это необходимо, так как на практике скорость заготовки меняется при прохождении формующих роликов и она может либо ускориться либо замедлиться. Что бы контакт не оказался активирован, в момент, когда уже произошло перевнедрение заготовки и ролика время Birth Time необходимо уменьшить, аналогично, при завершении контакта, может потребоваться увеличить Death Time. При значении параметра оптимизации контакта равном 1 устанавливается максимально возможная оптимизация, т.е. параметры Birth Time и Death Time определяются, как это было показано выше, при значении равном 0 оптимизация отсутствует и контакт действует все время моделирования. На практике в большинстве случаев подходящее значение параметра оптимизации оказывается больше 0,75.

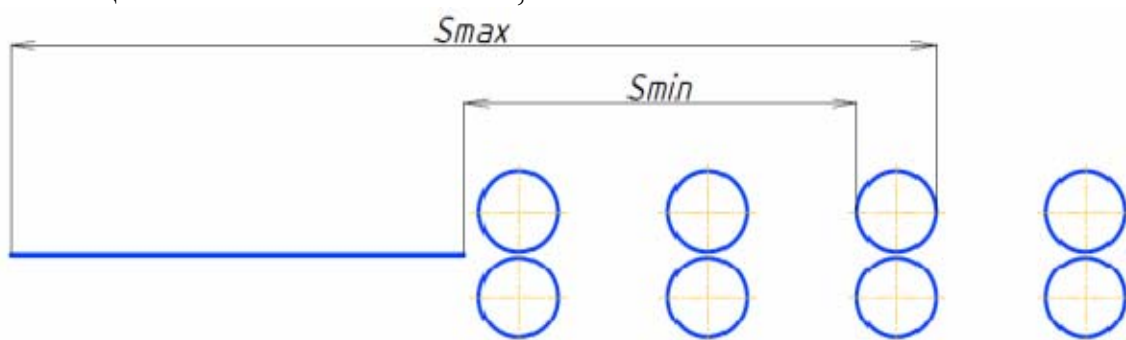


Рис. 9. Расчетная схема для пояснения способа оптимизации времени контакта

В группе скорость процесса указываются значения двух параметров: скорость заготовки и катающих диаметр роликов. Эти параметры необходимы для вычисления скорости вращения приводных роликов.

В группе параметров прочие находится всего один параметр, который позволяет установить граничные условия симметрии для узлов заготовки находящихся в плоскости Y-Z.

После того, как все параметры заданы можно нажать кнопку «Сгенерировать k файл». После этого программа выполнит комплекс процедур в результате которых будет сгенерирован текстовый файл с расширением k содержащий CAE модель в формате Ls-Dyna содержащий как узлы и элементы расчетной сетки, так и прочие необходимые записи. Внешний вид сгенерированной расчетной сетки показан на рис. 10.



Рис. 10. Внешний вид расчетной сетки

Далее сгенерированная модель может быть запущена в программе Ls-Dyna для вычисления и последующего анализа результатов на предмет соответствия получаемого профиля предъявляемым требованиям.

Выводы.

1. Совместное использование разработанной программы и специально разработанного для программы Autocad скрипта позволяет ускорить процесс проектирования поперечных сечений заготовки на промежуточных этапах формоизменения и повысить точность проектирования.

2. Благодаря совместному использованию специального скрипта для программы Autocad, который позволяет экспортировать координат вершин полилиний во внешний файл и разработанной программе сокращается время на подготовку математической модели в формате Ls-Dyna.

3. Благодаря оптимизации времени работы контактных алгоритмов удалось сократить время необходимое для расчета модели.

4. Наличие в программе математического уравнения профильной линии позволит при дальнейшем развитии программы реализовать функционал для определения различных характеристик сечения или его части, для которых необходимо выполнение интегрирования по длине профильной линии.

Библиографический список

1. Производство специального профиля из листовой заготовки методом формовки в роликах для изготовления наборных теплообменных панелей. Поворов С.В., Егоров Д.В., Волгин Д.С. Заготовительные производства в машиностроении. 2019. Т. 17. № 12. С. 557-561.

2. Расчет размеров профиля листовой заготовки в промежуточных переходах при формовке в роликах по заданным режимам. Поворов С.В. Заготовительные производства в машиностроении. 2016. № 12. С. 27-32.

3. Способ расчета размеров поперечного сечения листовой заготовки в промежуточных переходах при осуществлении процесса формовки в роликах. Поворов С.В. Калибровочное бюро. 2018. № 12. С. 41-50.

УДК: 621.771.63

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТА
КРОМКОВОЙ ВОЛНИСТОСТИ НА П-ПРОФИЛЕ****Поворов С.В.¹, Волгин Д.С.²***1 – к.т.н. МГТУ им. Н. Э. Баумана, г.Москва**2 – Студент 6 курса каф. Оборудование и технологии прокатки, ф-т
Машиностроительные Технологии, МГТУ им. Н. Э. Баумана, г.Москва**e-mail: volgin.dmitri.bmstu@yandex.ru*

Аннотация. В статье представлены результаты исследования причин возникновения дефекта кромковой волнистости с применением программного продукта LS-DYNA.

Ключевые слова: гнутый профиль, профилирование, дефект, кромковая волнистость.

**INVESTIGATION OF THE P-PROFILE EDGE WAVING DEFECT
FORMATION CAUSES****Povorov S.V.¹, Volgin D.S.²***1 – Candidate of Sciences in Technology Bauman Moscow State Technical University, Moscow,
e-mail: povorovs@bmstu.ru**2 – 6th- year student, Rolling Department, Engineering Technology faculty, Bauman Moscow
State Technical University, Moscow, e-mail: volgin.dmitri.bmstu@yandex.ru*

Abstract. Results of investigation of P-Profile edge waving defect formation causes with using LS-DYNA software product are presented in the article.

Keywords: bent profile, roll forming, defect, edge waving.

Кромковая волнистость является распространенным дефектом, возникающим при профилировании. Воздействию данного дефекта подвержены как простые, так и сложные профили. Целью работы является исследование причин возникновения дефекта в виде кромковой волнистости на П-профиле.

1 Выбор исходной калибровки для П-профиля

Для исследования причин возникновения дефекта кромковой волнистости был выбран П-профиль, так как он является одним из наиболее простых видов профилей. Формообразование П-профиля происходит только путём подгиба симметричных крайних полок относительно стенки, это позволяет исключить влияние от формирования других элементов на напряженно-деформированное состояние исследуемой части профиля.

В качестве объекта исследования был выбран профиль ПП-28х27.06, изображенный на рисунке 1.

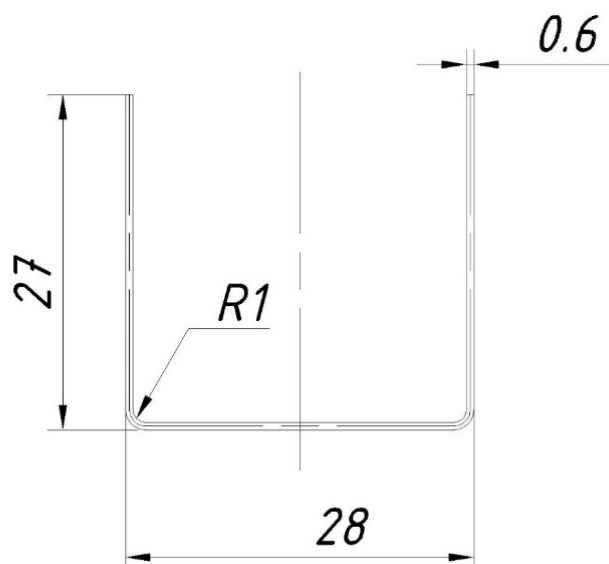


Рисунок 1 – ПП-28x27.06

Для производства данного профиля используется восьмиклетьевой профилегибочный стан, производимый компанией ООО «Мобипроф». Углы подгибки по клетям следующие: 10° – 24° – 38° – 52° – 66° – 80° – 90° . Восьмая клеть используется в качестве правильной, для устранения продольной кривизны профиля и его пружинения. В калибрах данного стана реализован метод формообразования с постоянным радиусом (рисунок 2) [1]. В данном случае по мере увеличения угла подгибки длина дуги радиусных участков будет увеличиваться, а длина крайних полок – уменьшаться. Этот метод позволяет получить профиль требуемой формы и размеров, также он дает возможность использовать одинаковые верхние ролики, имеющие постоянный радиус сопряжения, во всех калибрах, что экономит время на их изготовление, а также упрощает сборку калибров.

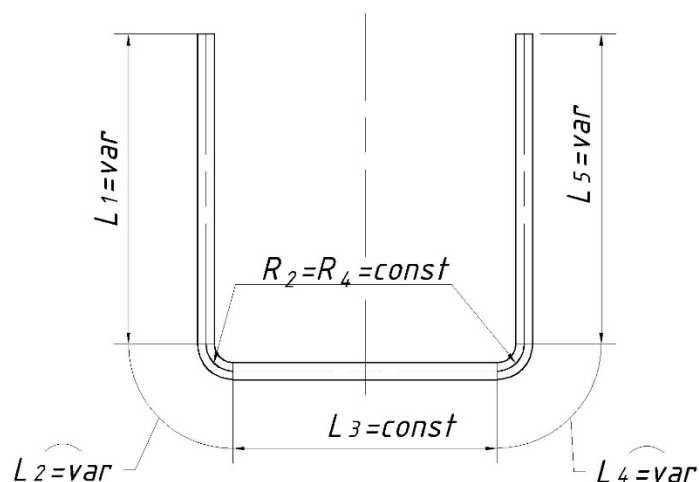


Рисунок 2 – Профилирование с постоянным радиусом

2 Моделирование процесса профилирования

Для того, чтобы выяснить влияние режима формовки на появление дефекта кромковой волнистости, была составлена модель процесса профилирования для калибровки, используемой при производстве качественного профиля, указанного на рисунке 1. Результаты моделирования предполагается с теми, которые получим при моделировании процесса профилирования в калибровке, которая будет давать дефект кромковой волнистости.

Процесс профилирования был смоделирован в прикладной программе конечно-элементного моделирования ANSYS LS-DYNA. Внешний вид модели показан на рисунке 3.

При моделировании учитывалось следующее:

- 1) Симметрия профиля позволила упростить расчёт, применив граничные условия;
- 2) Ролики и лист были разбиты на оболочечные конечные элементы, размер которых уменьшен в зонах деформации;
- 3) Длина штрипса выбрана такой, чтобы заготовка находилась в трех клетях одновременно;
- 4) Для моделирования поведения заготовки из стали 08пс использовалась билинейная модель упруго-пластичного материала с упрочнением;
- 5) Ролики смоделированы как абсолютно жесткие тела;
- 6) Первая клеть выполнена в качестве задающей, ролики в ней выполнены гладкими. Ролик в последней клетке выполняет роль приемного устройства, так как в модели не учитывается сила тяжести.

Внешний вид профиля, полученного в результате решения математической модели представлен на рисунке 4.

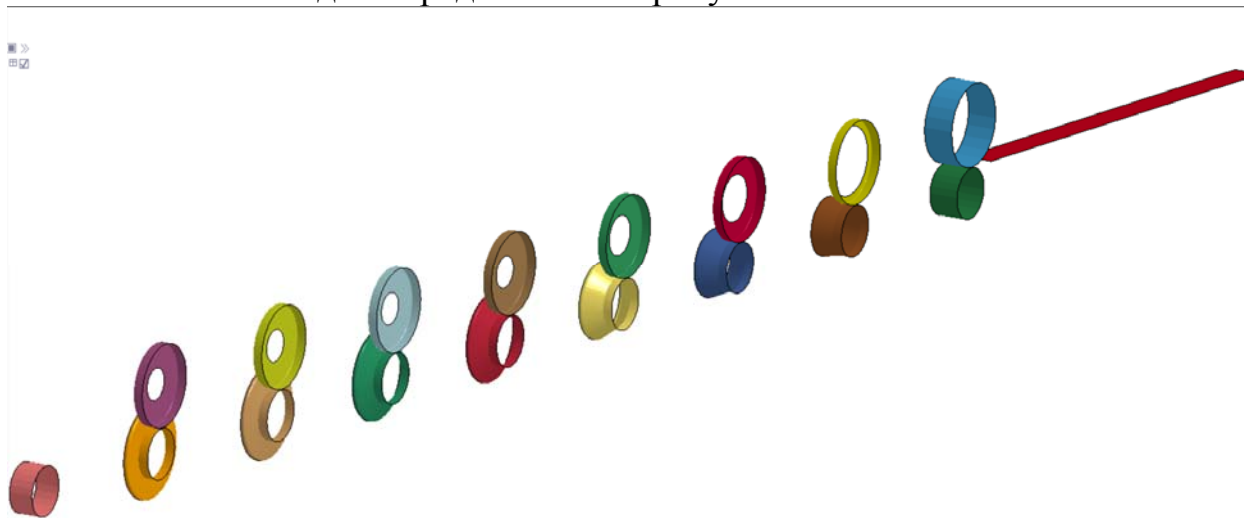


Рисунок 3 – Внешний вид математической модели с семью рабочими клетями

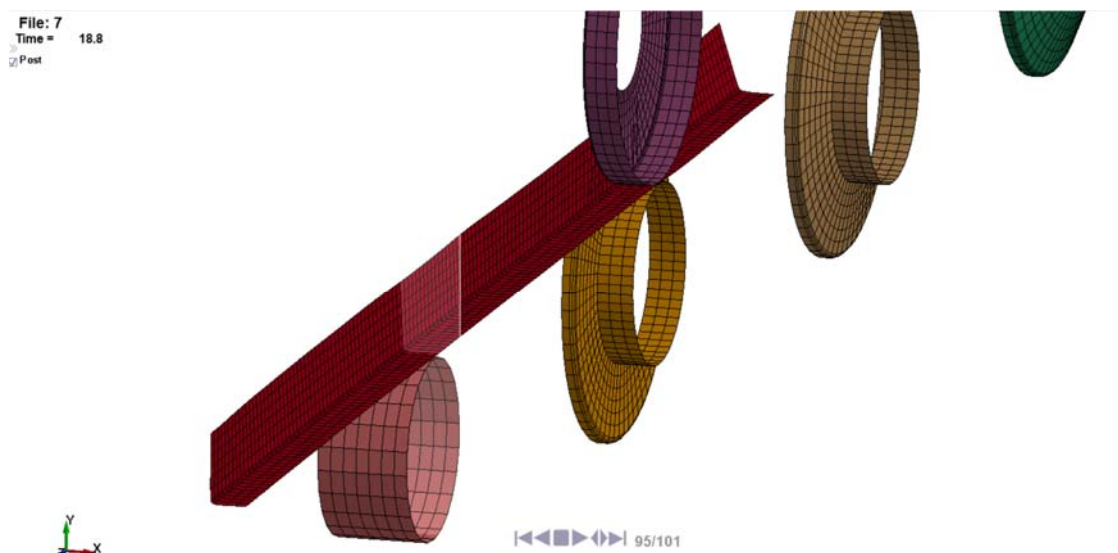


Рисунок 4 – Внешний вид профиля и расположение контрольного сечения

На модели трудно визуально оценить геометрические параметры полученного профиля, поэтому построим графики изменения угла подгибки, высоты полки и ширины заготовки (рисунок 5,6,7) в сечении, выделенном на рисунке 4. Согласно ГОСТ 8278-83 [2], это сечение должно располагаться на расстоянии не менее 200 мм от торца при обычной точности профилирования.

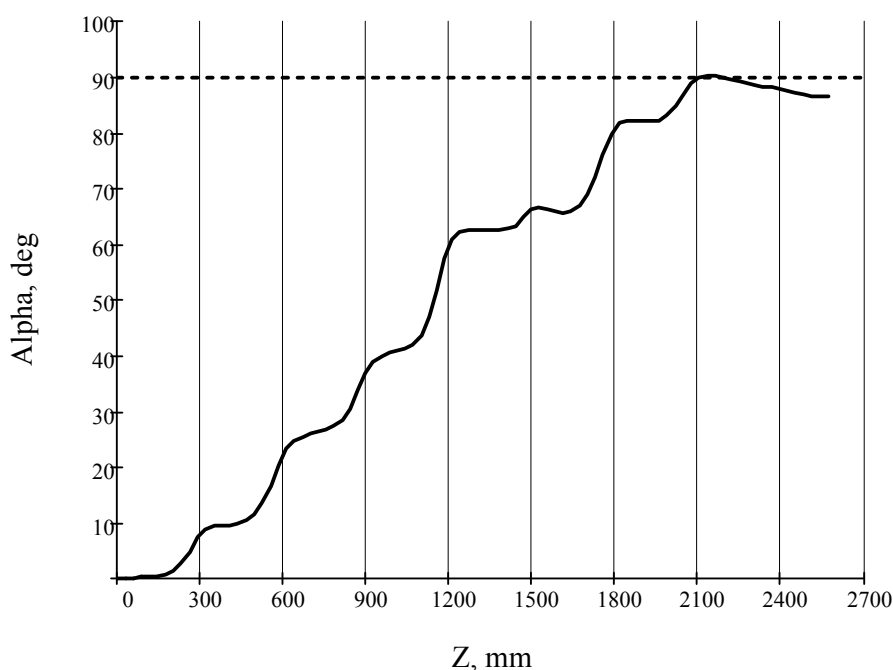


Рисунок 5 – График изменения угла подгибки

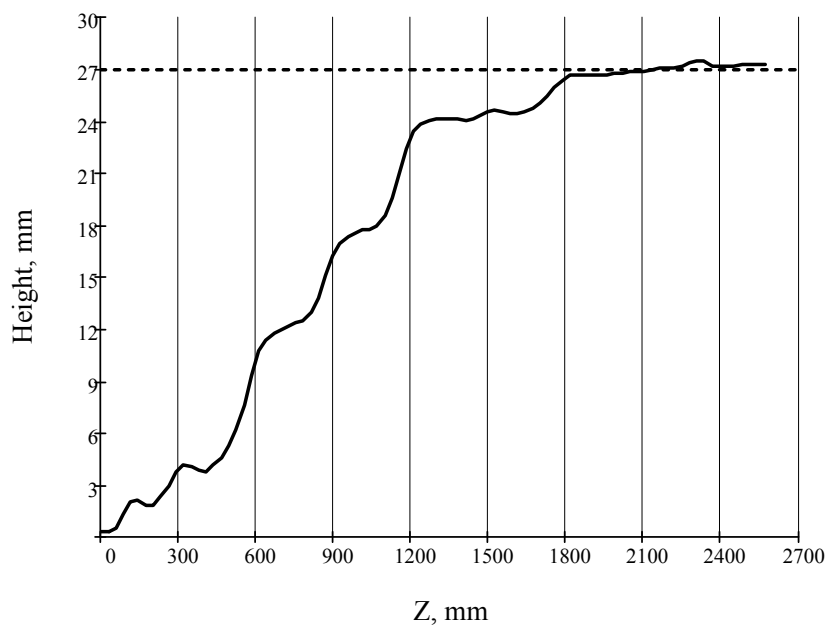


Рисунок 6 – График изменения высоты заготовки

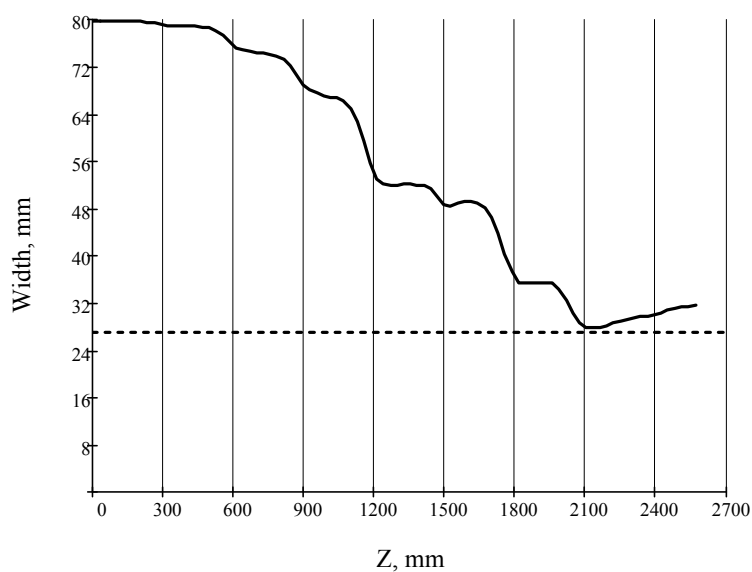


Рисунок 7 – График изменения ширины заготовки

Из данных графиков в конечный момент времени получили следующие величины:

$\alpha=87^\circ$ – угол подгибки в выделенном сечении;

$b=31,4$ мм – ширина выделенного сечения;

$h=27,2$ мм – высота выделенного сечения.

Также, путем определения относительного положения узлов элементов, находящихся на кромке заготовки, вычислим волнистость на кромке по формуле:

$$\Delta = X_{\max} - X_{\min} \quad (1)$$

Где $X_{\max}$ – максимальная координата расположения узла на кромке, мм;

$X_{\min}$ – минимальная координата расположения узла на кромке, мм.

Тогда, подставив значения из графика координат узлов, изображенного на рисунке 8, в формулу 1, получим:

$$\Delta = 16,3 - 14,7 = 1,6$$

Для получения выводов о качестве полученного в результате моделирования профиля построим сравнительную таблицу 1 со значениями контролируемых величин, а также с предельными отклонениями, указанными в ГОСТ 8278-83 [2].

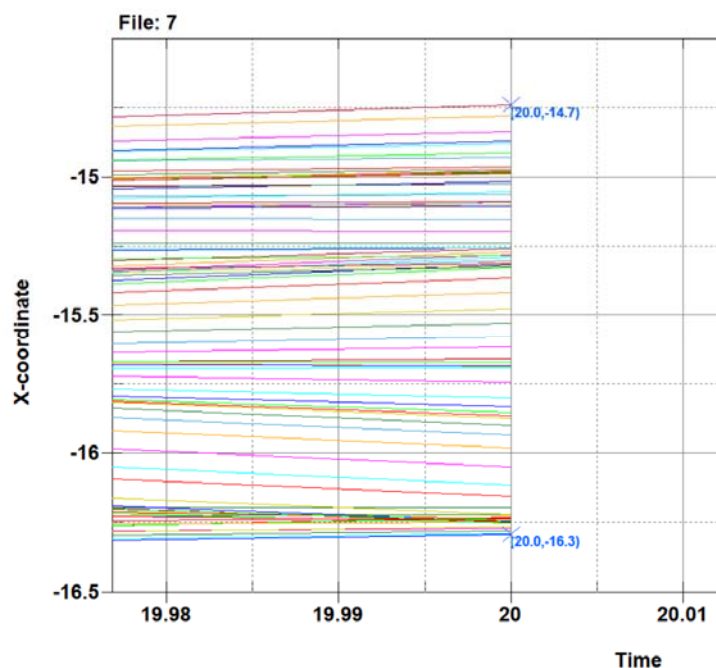


Рисунок 8 – К определению волнистости кромки

Таблица 1 – Геометрические параметры профиля

Величина	Значение по чертежу	Измеренное значение в модели	Отклонение	Допуск по ГОСТ (обычная точность)
Угол подгибки $\alpha, ^\circ$	90	87	3	$\pm 1^\circ 30'$
Ширина профиля $b, \text{мм}$	28	31,4	3,4	$\pm 1,5$
Высота профиля $h, \text{мм}$	27	27,2	0,2	± 1
Волнистость, мм	—	1,6	—	2

Из таблицы видно, что отклонение угла подгибки и ширины профиля не попадают в допуск, установленный ГОСТом, а величина высоты профиля и волнистости находятся в рамках этого допуска. Это связано с пружинением полок П-профиля. Пружинение не является объектом данного исследования, поэтому в модели не было правильной клетки, следовательно, можно ожидать, что при проведении моделирования с правильной клетью, дефекта пружинения удастся избежать, и все геометрические параметры профиля будут соответствовать требуемым значениям.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что, не учитывая пружинение, профиль, полученный в результате моделирования, считается годным. Данный вывод полезен тем, что он позволит использовать математическую модель для создания калибровки, при профилировании в которой на заготовке проявлялся бы дефект кромковой волнистости.

3 Выбор калибровки и моделирование процесса профилирования для демонстрации дефекта кромковой волнистости

Для демонстрации влияния режима формовки на возникновение дефекта кромковой волнистости была создана математическая модель формовки профиля, изображенного на рисунке 1, в которой использовались те же углы подгибки, что и в исходной, но убраны промежуточные клетки. Это позволит при проведении натурного эксперимента использовать калибры с одинаковой конструкцией, что упростит процесс производства валковой оснастки. В калибровке использованы четыре клетки со следующими углами подгибки: 10° – 38° – 66° – 90° . В отличие от исходной калибровки здесь были убраны промежуточные углы подгибки 24° , 52° , 80° , таким образом подгибка ведется с шагом 28° и 24° при одинаковых межклетьевых расстояниях.

При создании математической модели учитывались те же факторы, что указаны в п.2 настоящей работы. Внешний вид модели представлен на рисунке 9.

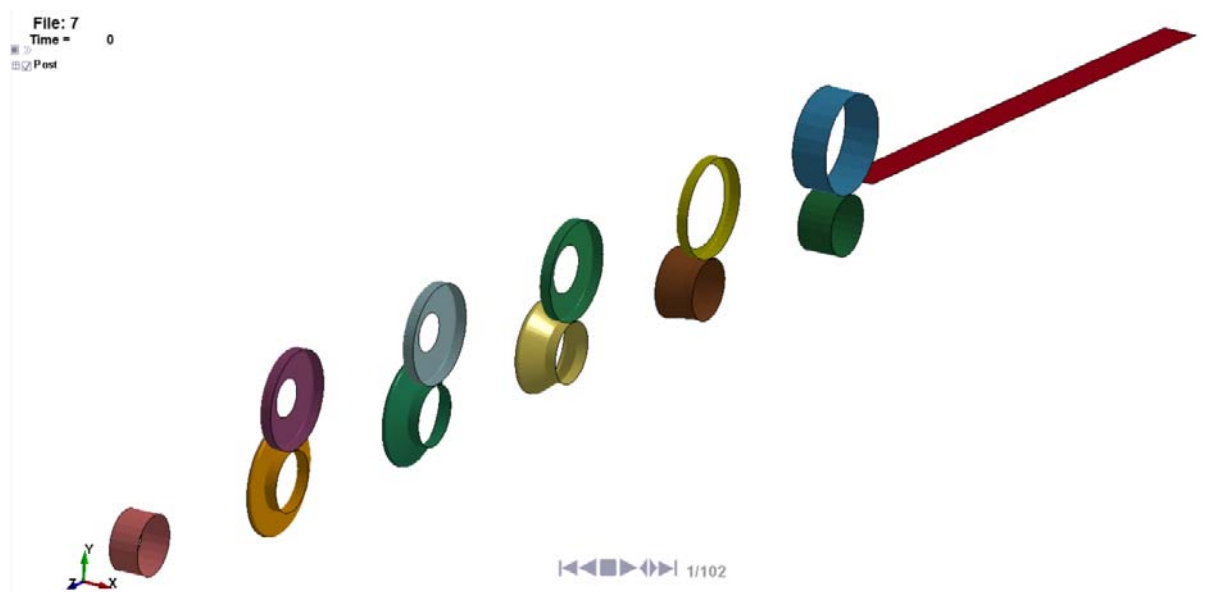


Рисунок 9 – Внешний вид математической модели с четырьмя рабочими клетями

Внешний вид профиля, полученного в результате решения математической модели представлен на рисунке 10. Для измерения геометрических параметров на профиле, как и в п.2, выделено сечение, также показанное на рисунке 10.

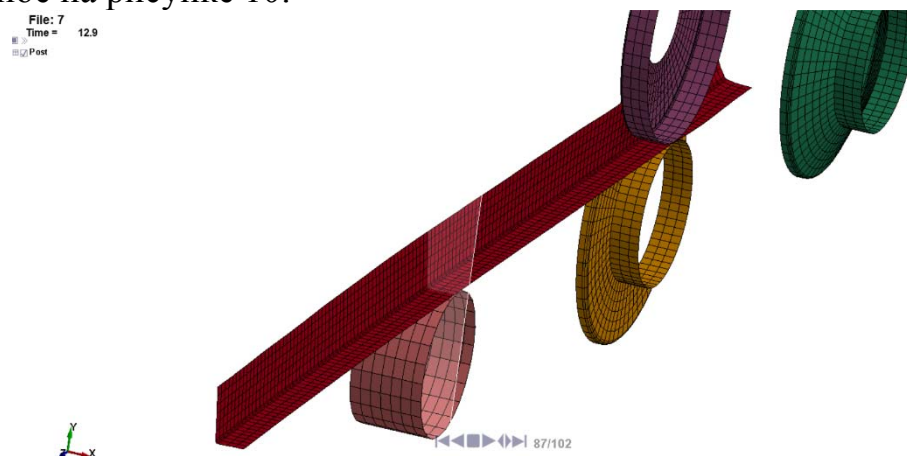


Рисунок 10 – Внешний вид готового профиля и расположение контрольного сечения

Для выделенного сечения построены графики изменения угла подгибки, высоты и ширины профиля, показанные на рисунках 11, 12 и 13 соответственно.

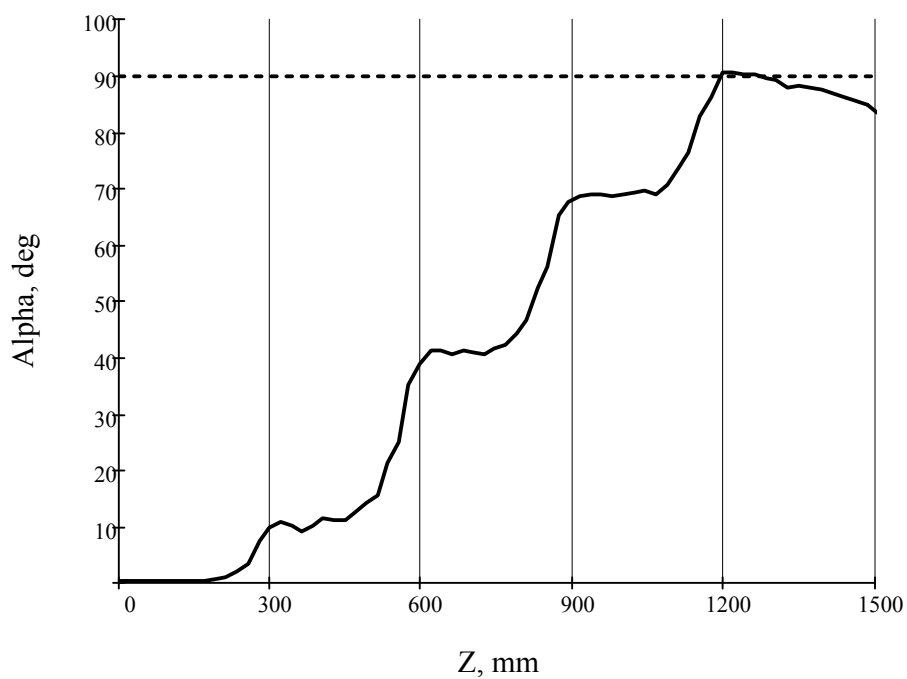


Рисунок 11 – График изменения угла подгибки

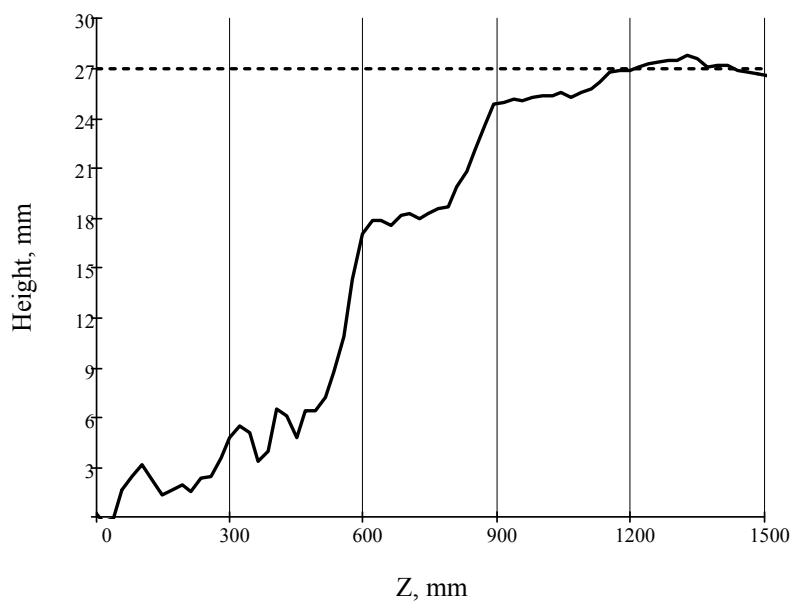


Рисунок 12 – График изменения высоты профиля

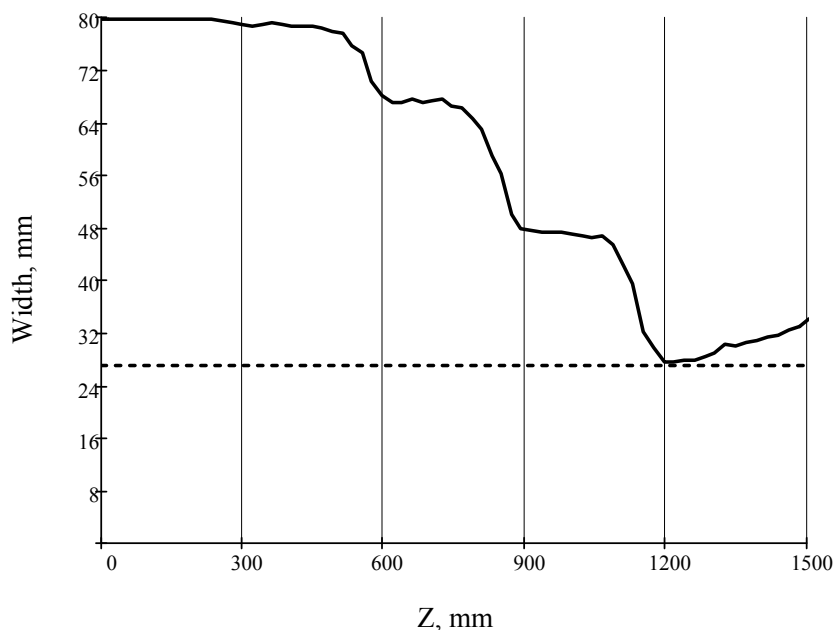


Рисунок 13 – График изменения ширины профиля

Также по аналогии с п.2 выделим на полке П-профиля ряд узлов, по графику изменения их координат найдем минимальное и максимальное значения (рисунок 14).

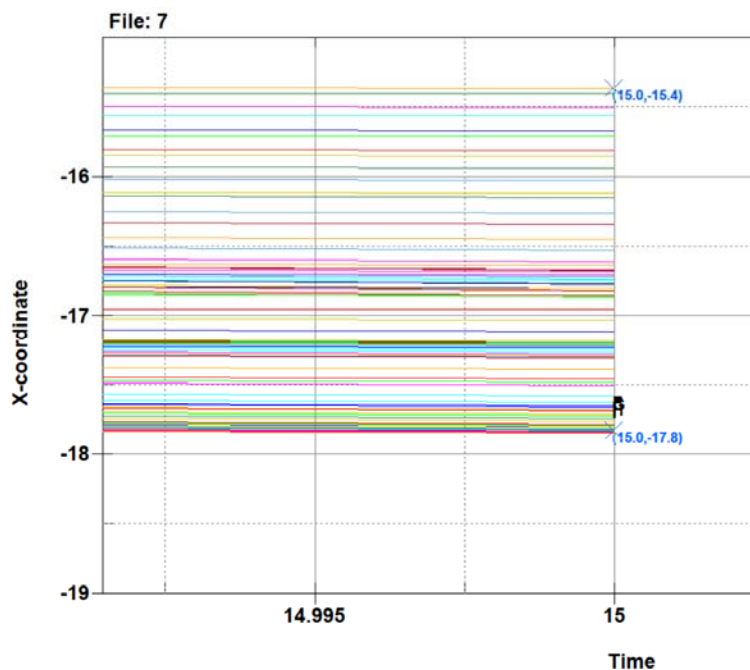


Рисунок 14 – Координаты узлов на стенке профиля

По формуле (1) рассчитаем значение кромковой волнистости:

$$\Delta = 17,8 - 15,4 = 2,4$$

На основе полученных результатов, проведем сравнение геометрических параметров профилей, отформованных в двух разных калибровках (таблица 2).

Из таблицы видно, что при профилировании во втором варианте калибровки только ширина профиля входит в допуск, указанный в ГОСТ. Остальные значения геометрических параметров не укладываются в допуск, кроме того, их значения отличаются от таковых в первоначальной калибровке. При выбранном режиме формовки наблюдается большее пружинение – 7° , следствием этого является отличие ширины профиля от заданного.

Сравнение двух режимов формовки показывает, что волнистость на кромках увеличилась на 1,1 мм по сравнению с калибровкой с семью клетями и составила 2,4 мм, что больше допустимого значения. Это значит, что даже при устранении пружинения профиль все равно будет считаться не годным из-за наличия данного дефекта.

Таблица 2 – Сравнение результатов моделирования

Величина	Значение по чертежу	Калибровка с семью клетями	Калибровка с четырьмя клетями	Допуск по ГОСТ [2] (обычная точность)
Угол подгибки $\alpha, ^\circ$	90	87	83	$\pm 1^\circ 30'$
Высота профиля h , мм	27	27,2	26,3	± 1
Ширина профиля b , мм	28	31,4	34,4	$\pm 1,5$
Волнистость, мм	–	1,6	2,4	2

4 Сравнительный анализ деформированного состояния заготовки при профилировании в двух калибровках

Для выявления причины кромковой волнистости выделили несколько элементов, находящихся на полке профиля (рисунок 15).

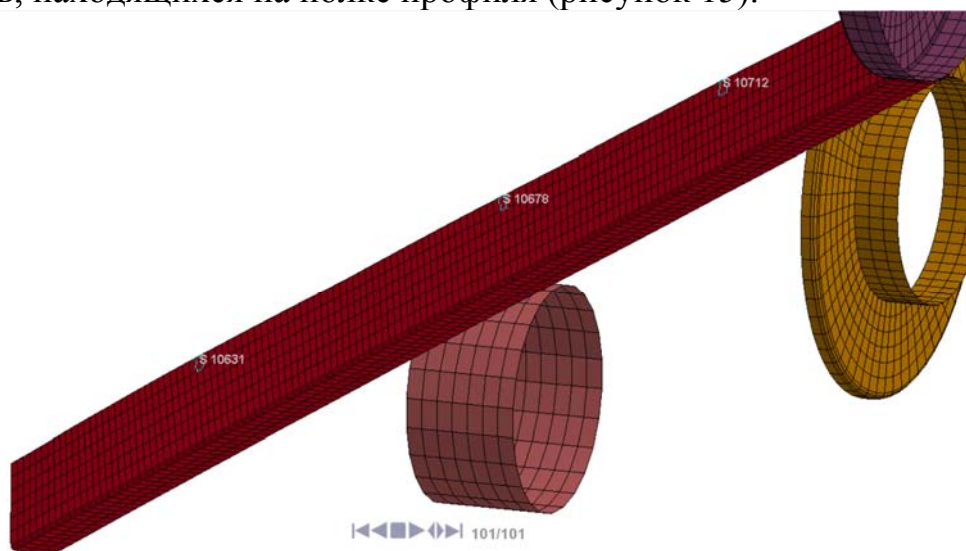
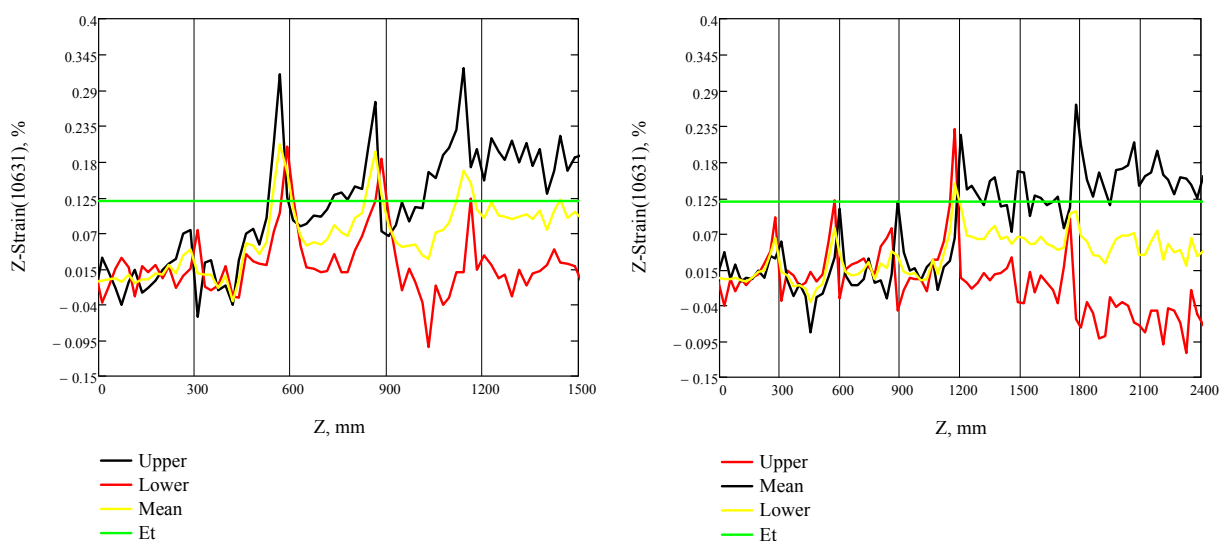


Рисунок 15 – Контрольные элементы

Для выделенных элементов построили график продольных деформаций в двух калибровках (рисунок 16,17,18). На каждом из графиков слева изображены деформации в верхнем нижнем и среднем поверхностном слоях для четырехклетьевого калибровки, справа – для семиклетьевого.

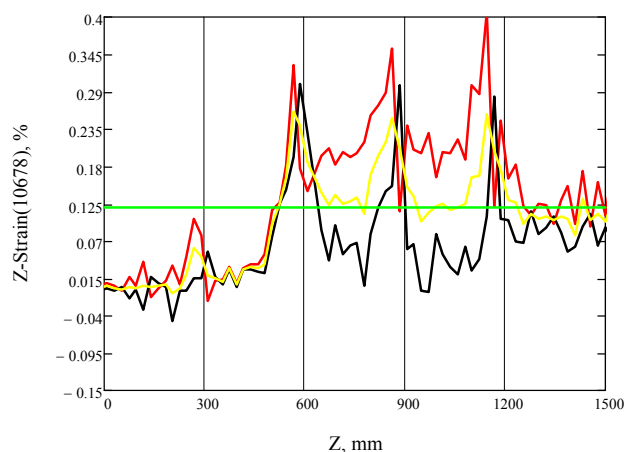
Из графиков видно, что растягивающие деформации на одной из поверхностей кромки при более интенсивной деформации имеют большие значения, чем при менее интенсивном процессе [3], и в обоих случаях превышают предел упругости, показанный горизонтальной прямой. Это значит, что при выходе из стана на кромке будут присутствовать остаточные деформации, что видно из всех графиков. Растягивающие деформации являются причиной продольного изгиба профиля и поперечного изгиба кромки. Разные знаки значений деформаций на слоях конечных элементов указывают на то, что кромка находится в изогнутом состоянии, что и является дефектом, называемым волнистость кромки. Величина же волнистости определяется величиной деформаций. Как видно из графиков, заготовка, которая испытывала более интенсивную деформацию и в конечном счёте имела большую волнистость, также имеет большие растягивающие деформации на поверхностях.



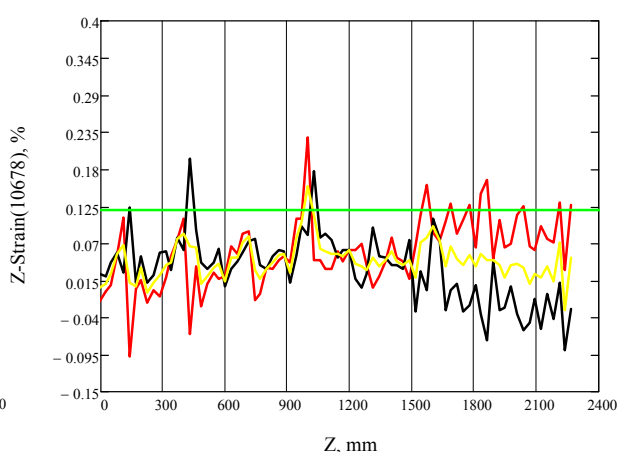
а – Четырехклетьевого калибровка

б – Семиклетьевого калибровка

Рисунок 16 – Деформации элемента 10631

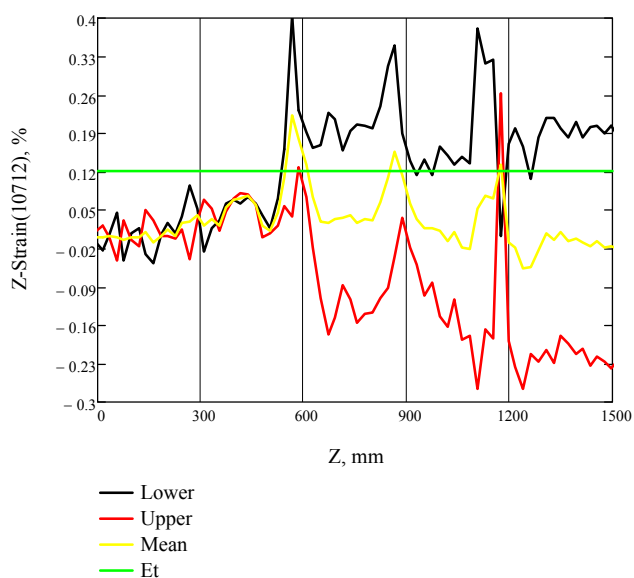


а – Четырехклетьевая калибровка

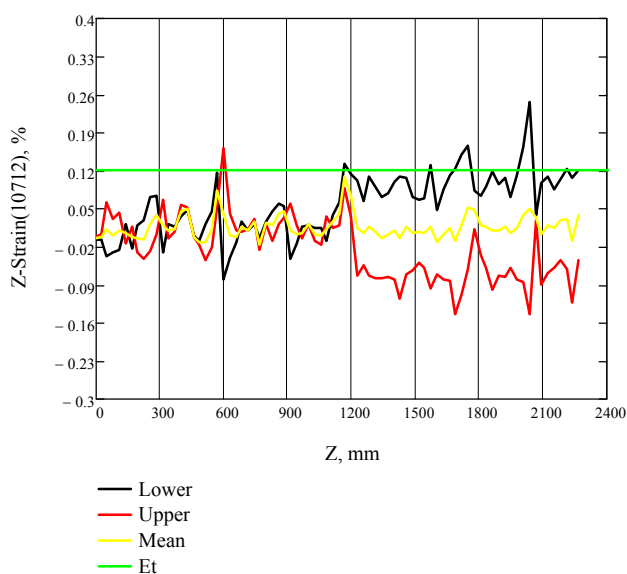


б – Семиклетьевая калибровка

Рисунок 17 – Деформации элемента 10678



а – Четырехклетьевая калибровка



б – Семиклетьевая калибровка

Рисунок 18 – Деформации элемента 10712

Выводы

В результате сравнения напряженно деформированного состояния, определенного путем математического моделирования, заготовки формируемой двумя способами было установлено, что:

- дефект в виде волнистости кромок заготовки возникает от действия продольных растягивающих деформаций превышающих предел упругости;
- величина волнистости тем больше, чем больше величина деформации растяжения, которая определяется режимом формовки.

Библиографический список

1. Теоретические основы процесса профилирования. Тришевский И.С., Докторов М.Е. М.: Металлургия, 1980. 288 с.
2. ГОСТ 8278-83 Швеллеры стальные гнутые равнополочные. Сортамент (с Изменениями N 1, 2).– М.: Издательство стандартов. 1998. – С. 14–15.
3. Поворов С.В., Егоров Д.В., Волгин Д.С. Производство специального профиля из листовой заготовки методом формовки в роликах для изготовления наборных теплообменных панелей// Заготовительные производства в машиностроении.– 2019.– №12.– С. 557–561.

УДК 621.98.043

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Почекуев Е.Н.¹, Шенбергер П.Н.², Груньюшкин А.Н.³

1 – кандидат технических наук, доцент, заведующий секцией «Обработка металлов давлением», доцент кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы», Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти

2 – кандидат технических наук, доцент кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы», Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти

3 – магистрант 2 года, кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы», Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти

Аннотация. Изложен алгоритм определения оптимальных параметров процесса листовой штамповки на основе решения многокритериальной задачи оптимизации. Приведена последовательность расчета на примере оптимизации параметров типового технологического процесса изготовления кузовной детали автомобиля.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация, оптимизация технологических процессов листовой штамповки.

MULTI-CRITERIAL OPTIMIZATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF SHEET STAMPING

Pochekuev E.N.¹, Schenberger P.N.², Grunyushkin A.N.³

1 - candidate of technical sciences, associate professor, head of the section "Metal forming", associate professor of the department "Welding, metal processing and related processes", Togliatti State University, Togliatti

2 - candidate of technical sciences, associate professor of the department "Welding, processing of materials by pressure and related processes", Togliatti State University, Togliatti

3 - graduate student 2 years, department "Welding, pressure processing of materials and related processes", Togliatti State University, Togliatti

Abstract. An algorithm for determining the optimal parameters of the sheet metal stamping process based on the solution of the multicriteria optimization problem is described. The calculation sequence is given on the example of optimizing the parameters of a typical technological process for manufacturing a car body part.

Keywords: multicriteria optimization, optimization of technological processes of sheet stamping.

Совершенствование технологического процесса листовой штамповки неразрывно связано с процедурами оптимизации его параметров. Разработка алгоритма определения оптимальных величин процесса листовой штамповки определяет необходимость формализации процедур, применение которых позволит специалистам этой области моделировать и решать различные по типу задачи независимо от программного продукта или процесса, с которыми они сталкиваются.

Производство кузовных деталей автомобиля определяет задачи обеспечения качества получаемых изделий как первоочередные [1]. Следовательно, базовым критерием оптимальности при оптимизации процессов листовой штамповки кузовных деталей может выступать критерий качества штампуемых изделий.

Выбор критерия качества штампуемых кузовных деталей в качестве основного задает состав возможных целевых функций. Множество возможных целевых функций позволяет определить задачу оптимизации процесса листовой штамповки, как многокритериальную.

Математическое описание многокритериальной целевой функции оптимизации качества изделия можно представить в виде:

$$F = F(f_1, f_2, f_3) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где f_1 – целевая функция получения детали без утонений (разрывов); f_2 – целевая функция получения детали без гофр; f_3 – целевая функция получения детали с допустимым пружинением.

Механизм многокритериальной оптимизации процесса листовой штамповки разделен на два этапа. На первом этапе процесса выполняется конечно-элементный расчет и моделирование технологического процесса штамповки кузовной детали на основе функционала математического ядра LS-DYNA; на втором этапе – моделирование задачи оптимизации при ее постановке в программе LS-OPT при взаимодействии с LS-DYNA.

Реализация механизма решения многокритериальных задач будет показана для типового технологического процесса изготовления кузовной детали автомобиля (рис. 1).

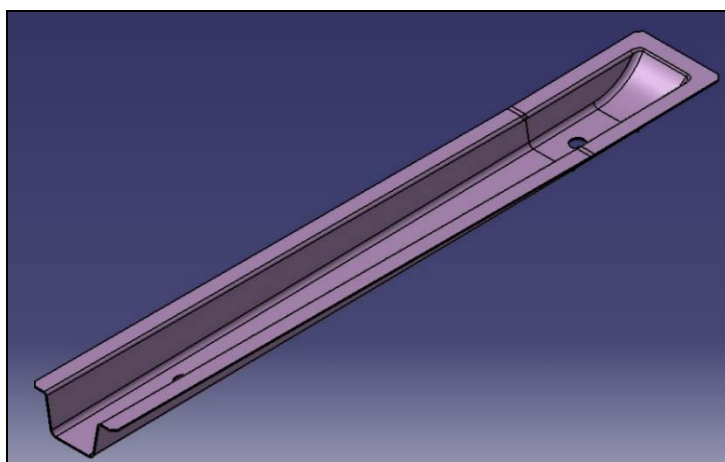


Рис. 1. Электронная модель кузовной детали автомобиля

В соответствии с задачами первого этапа было осуществлено моделирование технологического процесса изготовления кузовной детали из оцинкованной стали толщиной 1,5 мм, в состав которого входят операции: вырубка, вытяжка, обрезка и пробивка двух отверстий.

Проведенный расчет показал, что в соответствии с данными диаграммы предельных деформаций (рис. 2) на детали недопустимых разрывов и утонений не наблюдается (красная и желтая области цветовой шкалы); установлено интенсивное складкообразование (синяя и фиолетовая области) в радиусных угловых зонах, а также на поверхности фланца.

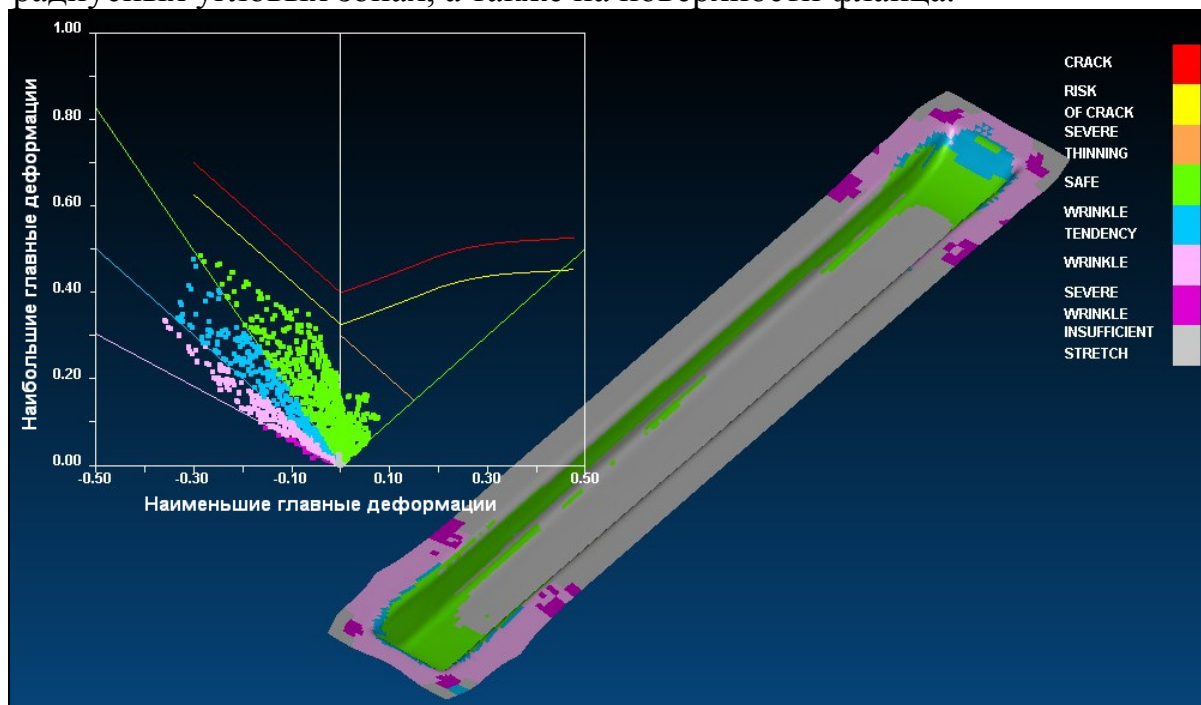


Рис. 2. Диаграмма предельных деформаций с закраской характерных областей на модели

Максимальное смещение точек конечно-элементной модели, отражающее степень упругого пружинения конечной детали, составило 1,398 мм, что выходит за границы допустимой величины (δ), заданной в интервале $(-1 < \delta < 1)$ мм (рис. 3). Превышение предельных величин указанного интервала определяет возможность появления дефекта.

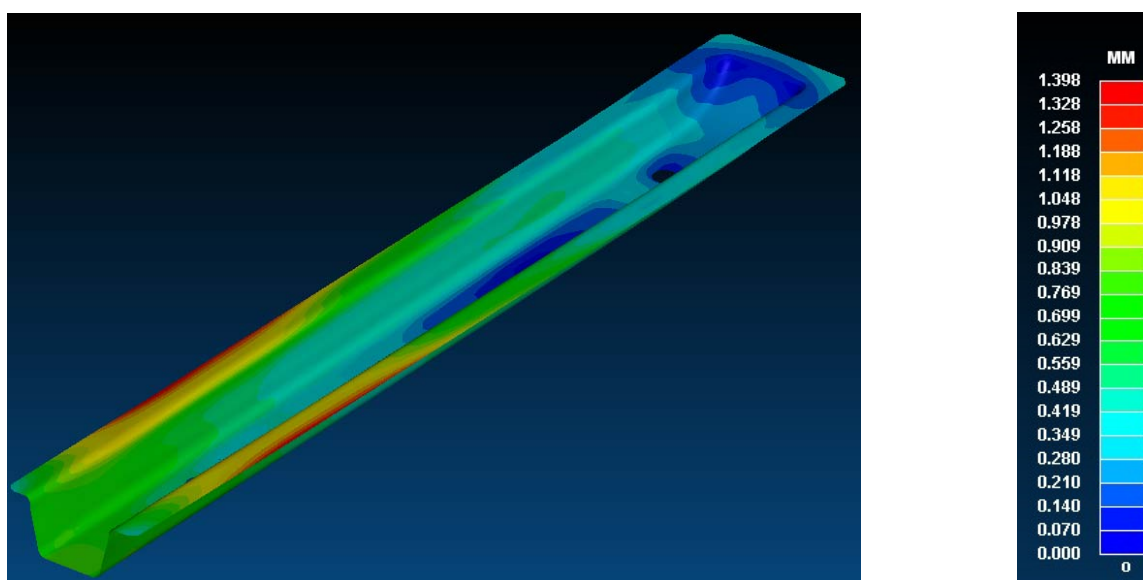


Рис. 3. Смещение точек конечно-элементной модели

Анализ результатов конечно-элементного моделирования показал возможность постановки и решения задачи оптимизации за счет подбора оптимальных параметров процесса штамповки при условии минимизации величины упругого пружинения. Полученные результаты первого этапа позволяют перейти от решения многокритериальной задачи к однокритериальной с ограничениями на основе использования метода редукции [2].

Выбор критерия получения детали с допустимым пружинением (f_3) в качестве основной целевой функции приводит к переводу остальных функций (f_1 – целевая функция получения детали без утонений (разрывов); f_2 – целевая функция получения детали без гофр) в разряд неявных ограничений.

Перевод целевой функции f_1 (получение детали без утонений и разрывов) в разряд ограничений позволяет ввести в расчетную задачу ее пороговое значение, используя максимально допустимую величину утонения материала, которая составляет 25% от его толщины.

На втором этапе выполняется моделирование задачи оптимизации в программе LS-OPT во взаимодействии с LS-DYNA.

Параметры технологического процесса, геометрические размеры детали и штамповой оснастки, материал изделия задаются в качестве переменных проектирования. В постановке задачи указываются границы изменения переменных в виде таких ограничений, как характеристики оборудования, размеры штамповой оснастки и заготовки, свойства материалов и др.

В ряде случаев варьирование параметров технологического процесса является затруднительным по конструктивным либо финансовым причинам. Для рассматриваемого типового технологического процесса изготовления кузовной детали в случае затруднений, связанных с варьированием значений переменных, подбор усилия прижима заготовки в интервале допустимых величин позволит управлять процессом оптимизации, при которой обеспечивается минимальная величина упругого пружинения с учетом ограничения максимально допустимого утонения. Варьирование величины усилия прижима назначается в интервале от 250 до 1200 кН.

Поставленная задача оптимизации решается по алгоритму проведения расчета в LS-OPT в виде блок-схемы, представленной на рисунке 4.

В качестве типа задачи выбрана оптимизация на основе метамоделей, которая представляет собой линейный полином, проведенный через точки отклика. Для линейного полинома схема выбора точек указывается, как D-оптимальная [3-4].

Решение задачи было получено за 9 итераций на основе 36 реализаций проекта. Анализ полученных результатов, представленных на графике изменения переменной проектирования по итерациям (рис. 5), показал, что оптимальное значение усилия прижима, установленное на 9 итерации, составляет 915,744 кН. Минимальное значение упругого пружинения при

данном усилии прижима и максимально возможном утонении 25%, составляет 0,832 мм в соответствии с графиком смещения точек конечно-элементной модели детали по итерациям (рис. 6).

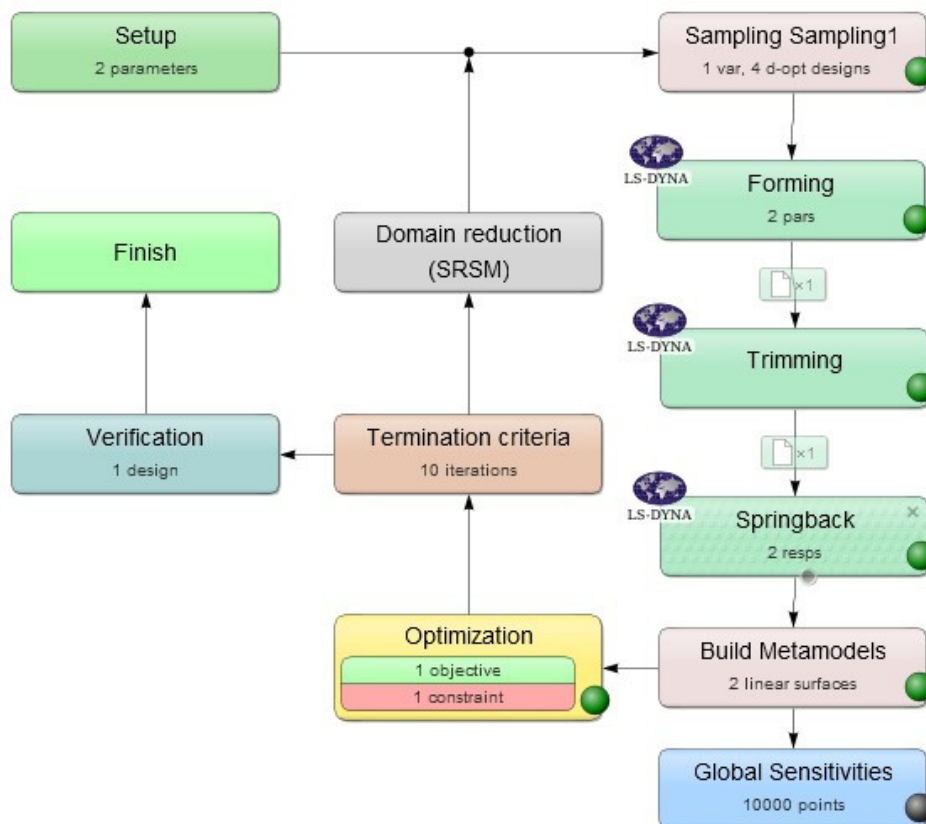


Рис. 4. Блок-схема алгоритма оптимизации

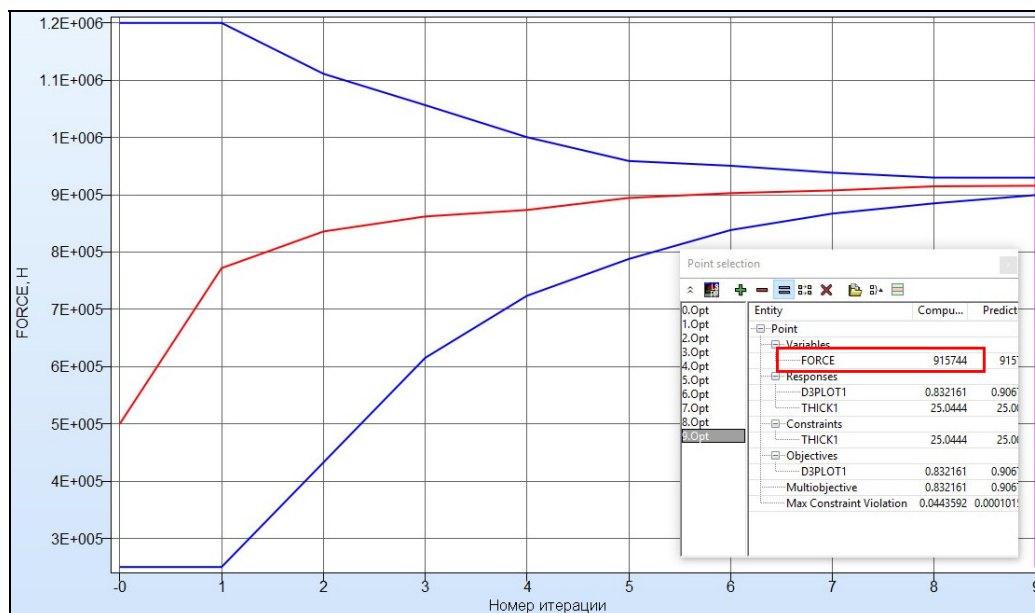


Рис. 5. График изменения усилия прижима (Force) по итерациям

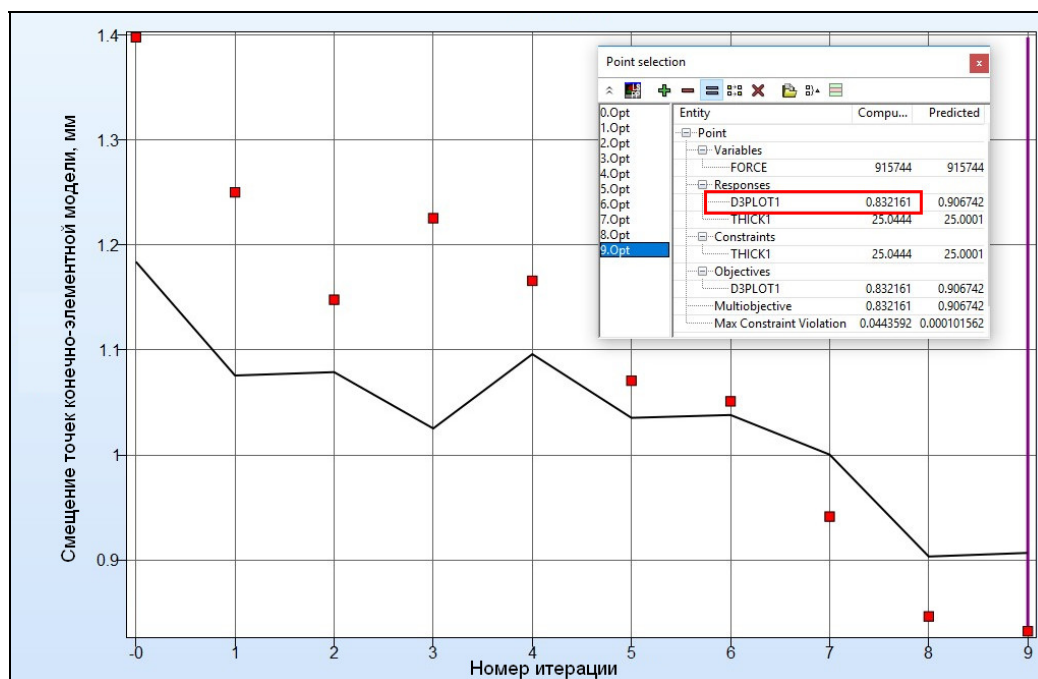


Рис. 6. График смещения точек конечно-элементной модели детали по итерациям

Данные параллельного координатного графика позволяют визуализировать соответствие трех величин: усилия прижима, смещения и утонения. Значения каждого параметра отмечаются на вертикальной оси; соответствующие значения соединяются полилиниями (рис. 7).

Выполняется проверка полученных результатов на основе повторного моделирования технологического процесса с использованием установленного оптимального значения прижима. Анализ результатов подтвердил получение величины упругого пружинения, соответствующего смещению равному 0,832 мм (рис. 8).

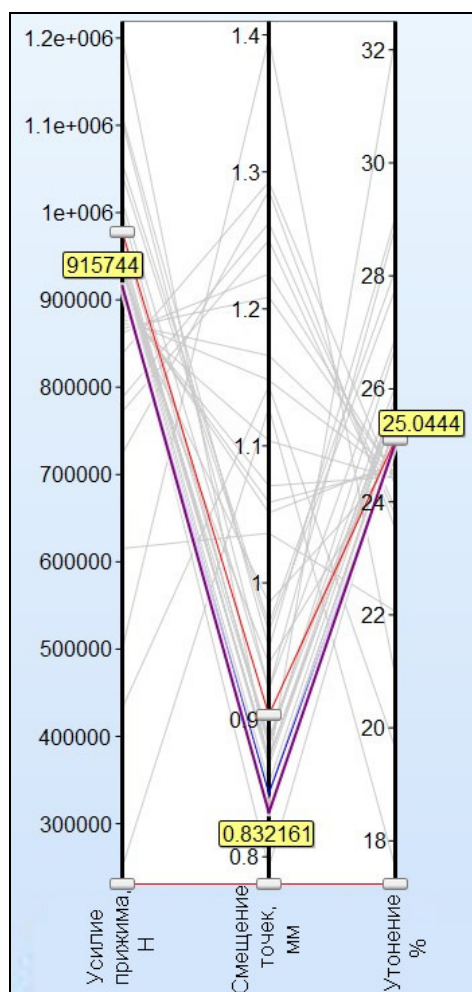


Рис. 7. Параллельный график соответствия трех величин: усилия прижима, смещения и утонения

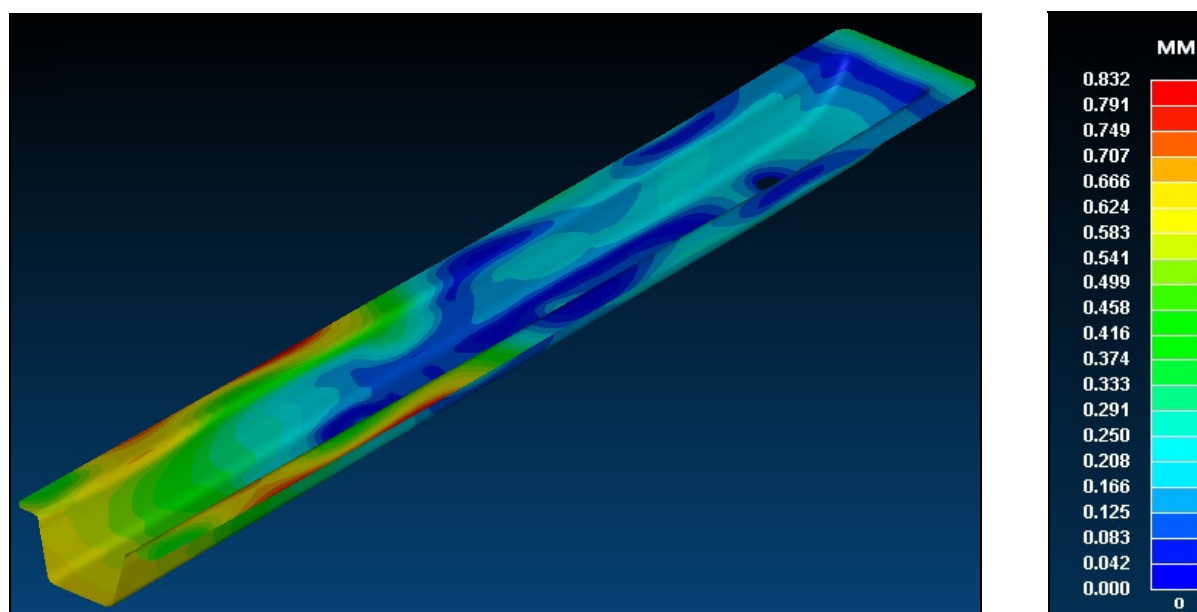


Рис. 8. Смещение точек конечно-элементной модели после оптимизации технологического процесса

Таким образом, к основным результатам работы можно отнести следующее:

1. Представлен алгоритм определения оптимальных параметров процесса листовой штамповки на основе решения многокритериальной задачи оптимизации.
2. Показана реализация механизма решения многокритериальных задач для типового технологического процесса изготовления кузовной детали автомобиля.

Библиографический список

1. Почекуев, Е.Н. Повышение качества крупногабаритных заготовок на основе моделирования разделительных операций в последовательных штампах / Е.Н. Почекуев, П.Н. Шенбергер // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2018. - № 2. С. 27 - 31.
2. Учаев, П.Н. Оптимизация инженерных решений в примерах и задачах: учеб. пособие для студентов вузов / П. Н. Учаев, С. А. Чевычелов, С. П. Учаева; под общ. ред. П. Н. Учаева. - Старый Оскол: ТНТ, 2013. - 175 с.
3. Redhe, M. [Using the response surface methodology and the D-optimality criterion in crashworthiness related problems](#) / M. Redhe, J. Forsberg, T. Jansson, P. Marklund, L. Nilsson // Structural and multidisciplinary optimization. – 2002. - № 3 (24). P. 185 – 194.
4. Stander, N. [Crashworthiness optimization in LS-OPT: Case studies in metamodeling and random search techniques](#) / N. Stander, W. Roux, M. Giger, M. Redhe, N. Fedorova, J. Haarhoff // proceedings of the 4th European LS-DYNA conference. – 20

УДК 621.9.011

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ
В QFORM 9****Стебунов С.А.¹, Харсеев В.Е.², Власов Ал. В.³, Гартвиг А.А.⁴***1 – канд. техн. наук, генеральный директор ООО «КванторФорм», г. Москва.**2 – канд. техн. наук, инженер отдела технической поддержки ООО «КванторФорм», г. Москва.**3 – д-р. техн. наук, ООО «КванторФорм», г. Москва.**4 – руководитель отдела технической поддержки ООО «КванторФорм», г. Москва.*

Аннотация. Представлены возможности программного комплекса QForm 9 при моделировании процессов листовой штамповки, включающие реализацию использования нового вида конечно-элементной модели заготовки, условия пластичности ортотропного материала, пользовательских подпрограмм определения толщины заготовки и диаграммы предельного формоизменения. Также при моделировании доступна как жесткопластическая постановка задачи, так и упругопластическая, позволяющая учесть упругие деформации заготовки в процессе формоизменения.

Ключевые слова: QForm, листовая штамповка, имитационное моделирование, метод конечных элементов.

SIMULATION OF SHEET STAMPING PROCESSES IN QFORM 9**Стебунов С.А.¹, Харсеев В.Е.², Власов Ал. В.³, Гартвиг А.А.⁴***1 – Ph.D., general manager QForm Group, Moscow.**2 – Ph.D., engineer of Technical Support Department QForm Group, Moscow.**3 – Grand Ph.D., QForm Group, Moscow.**4 – Head of Technical Support Department QForm Group, Moscow.*

Abstract. New possibilities of the QForm 9 software for simulation of the metal sheet forming processes are presented, including the implementation of a new type of finite element model of the workpiece, the plasticity state of the orthotropic material, user subroutines for determining the workpiece's thickness and the forming limit diagram (FLD). The rigid-plastic as well as the elastic-plastic model are available for simulation, which allows to take into account the elastic deformations of the workpiece during the forming process.

Keywords: QForm, sheet forming, simulation, finite element method.

Проектирование технологических процессов листовой штамповки на современном уровне требует решения различных весьма сложных задач, к числу которых относятся определение энергосиловых параметров операций, оптимизация технологии, предотвращение возникновения дефектов и технологических отказов, обеспечение определенных эксплуатационных свойств детали и др. Первоосновой при их решении является определение напряженно-деформированного состояния и температурного режима

заготовки и инструмента в процессе формоизменения. Теория пластичности позволяет сформулировать замкнутую систему уравнений для их определения, включающую нелинейные дифференциальные уравнения, но, учитывая ее сложность, в общем случае решение возможно найти только численными методами. Наряду с этим стремительное развитие численных методов в сочетании с появлением доступных и быстродействующих ЭВМ, привело к появлению специализированных коммерческих продуктов моделирования процессов обработки материалов давлением, одним из наиболее широко распространённых среди которых, является программный комплекс QForm.

Программный комплекс QForm основан на методе конечных элементов, разрабатывается компанией «КванторФорм» (Россия) и предназначен для моделирования и оптимизации процессов обработки металлов давлением. Разработка комплекса началась в 1991 году с выпуска программы FORM-2D. В 2019 году была выпущена текущая версия программы - QForm 9. QForm 9 позволяет моделировать операции формоизменения тела в результате механического воздействия, операции охлаждения и нагрева в среде или инструменте с учетом теплового расширения и действия внутренних напряжений, процессы фазовых превращений и эволюции микроструктуры. Для анализа операций раскатки колец и колес, прокатки, экструзии и электровысадки, реализованы специализированные модули, упрощающие задание исходных данных, позволяющие уменьшить время расчета и увеличивающие точность получаемых результатов, за счет применения специализированных приемов моделирования. В QForm 9 также вошли изменения, позволяющие эффективно моделировать процессы листовой штамповки.

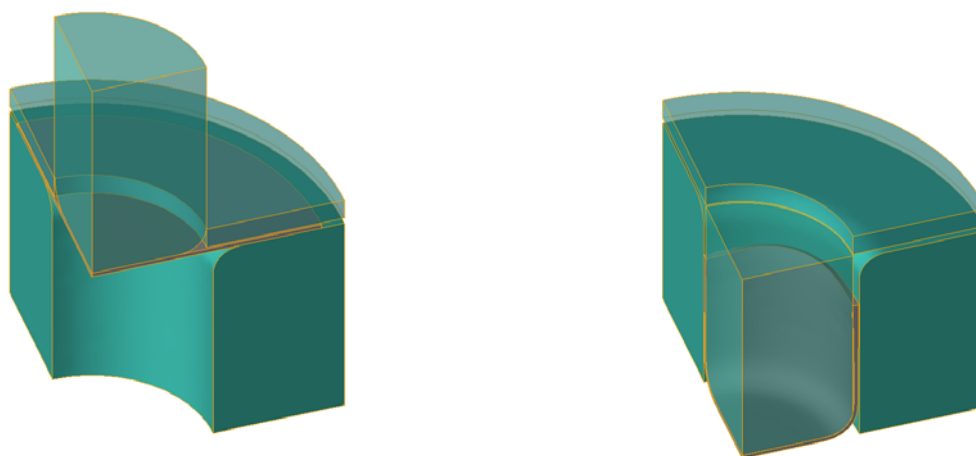
Цель работы – обзор новых возможностей программного комплекса в QForm 9 при моделировании процессов листовой штамповки.

Развитие программного комплекса в части совершенствования моделирования операций листовой штамповки включает реализацию использования нового вида конечно-элементной модели заготовки, условия пластичности ортотропного материала, пользовательских подпрограмм определения толщины заготовки и диаграммы предельного формоизменения. При моделировании доступна как жесткопластическая постановка задачи, так и упругопластическая, позволяющая учесть упругие деформации заготовки в процессе формоизменения.

Предыдущие версии программы позволяли моделировать операции листовой штамповки, но наличие возможности использования только тетраэдра в качестве элемента сеточной модели для пространственной задачи в совокупности с особенностями листовых заготовок, у которых толщина в несколько раз меньше габаритных размеров, зачастую приводило к созданию модели заготовки, состоящей из чрезмерно большого количества элементов и требующей существенных временных затрат при выполнении расчетов. Вследствие этого практическое применение QForm при анализе операций

листовой штамповки было сильно ограничено. Для решения этой проблемы в QForm 9 реализована возможность использования объемного конечного элемента в форме гексаэдра. В отличие от оболочечных конечных элементов, используемых во многих специализированных программах моделирования операций листовой штамповки (AutoForm, PAM-STAMP и др.), объемные элементы более универсальны и позволяют расширить перечень моделируемых задач, в том числе на операции с принудительным изменением толщины обрабатываемого материала. Тем не менее, нужно отметить, что в связи с необходимостью использования большего числа элементов расчетное время при использовании объемных элементов больше. Влияние применения конечного элемента в форме гексаэдра на размерность сеточной модели заготовки и время расчета в QForm 9 рассмотрим на примере моделирования операции вытяжки цилиндрического стаканчика диаметром 50 мм из листа толщиной 1 мм с коэффициентом вытяжки 0.5, расчетная модель которой представлена на рисунке 1.

Для уменьшения времени расчета, моделирование выполнялось для $\frac{1}{4}$ заготовки с заданием плоскостей симметрии. Моделирование проводилось для сеточных моделей двух видов: гексаэдральной и тетраэдральной. Для достоверного расчета изгиба заготовки при моделировании процессов листовой штамповки с использованием объемных конечных элементов, по толщине заготовки должно быть порядка трех-пяти элементов. Подготовленные модели представлены на рисунке 1. При применении конечного элемента в форме гексаэдра вместо тетраэдра и сохранении той же точности расчета, сократилось количество узлов и элементов сеточной модели с 65357 до 2790 и с 292044 до 2170, соответственно, что привело к сокращению суммарного времени расчета с 9 часов до 7 минут.

*a*

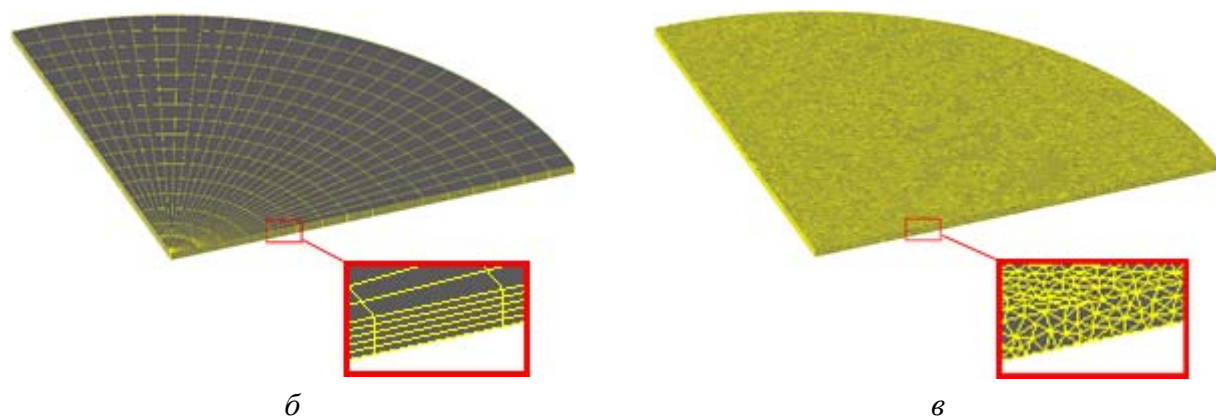


Рис. 1. Влияния вида конечного элемента на сеточную модель заготовки:
a – расчетная модель в начале и конце операции; *б* – сеточная модель из гексаэдров;
в – сеточная модель из тетраэдров

Для ускорения расчета за счет применения исходной модели заготовки из более крупных элементов, в QForm 9 реализовано автоматическое адаптивное деление с последующим объединением гексаэдров конечно-элементной модели, продемонстрированные на рисунке 2.

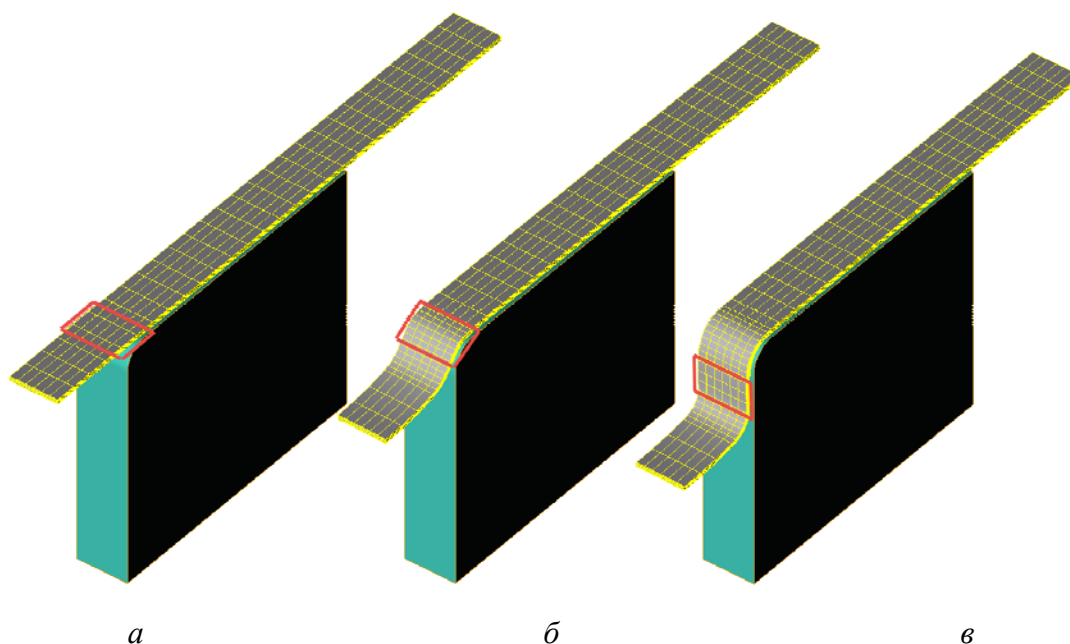


Рис. 2. Конечно-элементная модель заготовки в рассматриваемой области в процессе гибки:

a – исходная; *б* – при прохождении зоны изгиба; *в* – после выхода из зоны изгиба

Зачастую в операциях листовой штамповки используются анизотропные заготовки, получаемые из прокатанного листа, поэтому условия пластичности в QForm 9, были дополнены условием Хилла для ортотропного материала с изотропным упрочнением [2]:

$$2f(\sigma_{ij}) \equiv F(\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + G(\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 + H(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + 2L\sigma_{xy} + 2N\sigma_{xy}^2 = 1, \quad (1)$$

где x, y, z – взаимно перпендикулярные оси прямоугольной системы координат, при этом ось x совпадает с направлением прокатки, а ось z перпендикулярна плоскости листа;

$f(\sigma_{ij})$ – условие пластичности, представленное функцией компонент тензора напряженного состояния σ_{ij} ;

σ_{ij} – напряжение в площадке, перпендикулярной к оси i ($i = x, y, z$), в направлении оси j ($j = x, y, z$),

H, F, G, N, L, M – параметры, характеризующие текущее состояние анизотропии и в условиях изотропного упрочнения материал.

На рисунке 3 представлены образцы, полученные при моделировании рассмотренной ранее вытяжки цилиндрического стаканчика с использованием условий пластичности Хилла и Мизеса, и реальная деталь, полученная из прокатанной заготовки. Очевидно, что условие пластичности Хилла позволяет более точно моделировать формоизменение ортотропного материала.

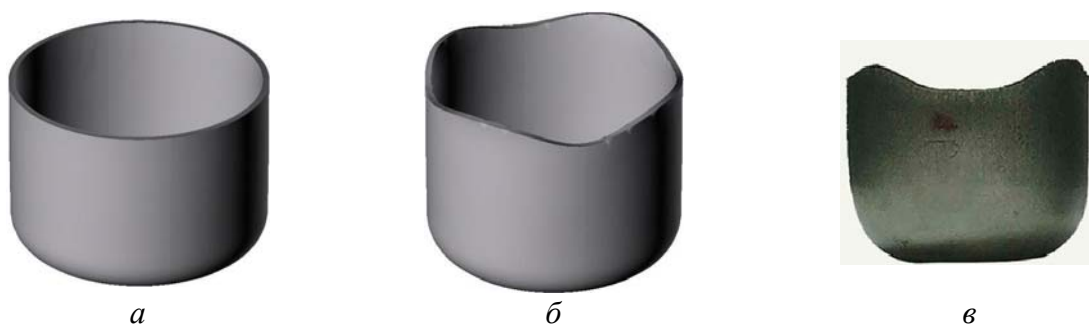


Рис. 3. Форма вытянутого образца, полученная:

a – из моделирования с использованием условия пластичности Мизеса; b – из моделирования с использованием условия пластичности Хилла; $в$ – из эксперимента

Для расширения возможностей программы функционал QForm 9 был дополнен пользовательскими подпрограммами определения толщины заготовки и построения диаграммы предельного формоизменения. На рисунке 4 и 5 представлены примеры результатов расчета данных подпрограмм.

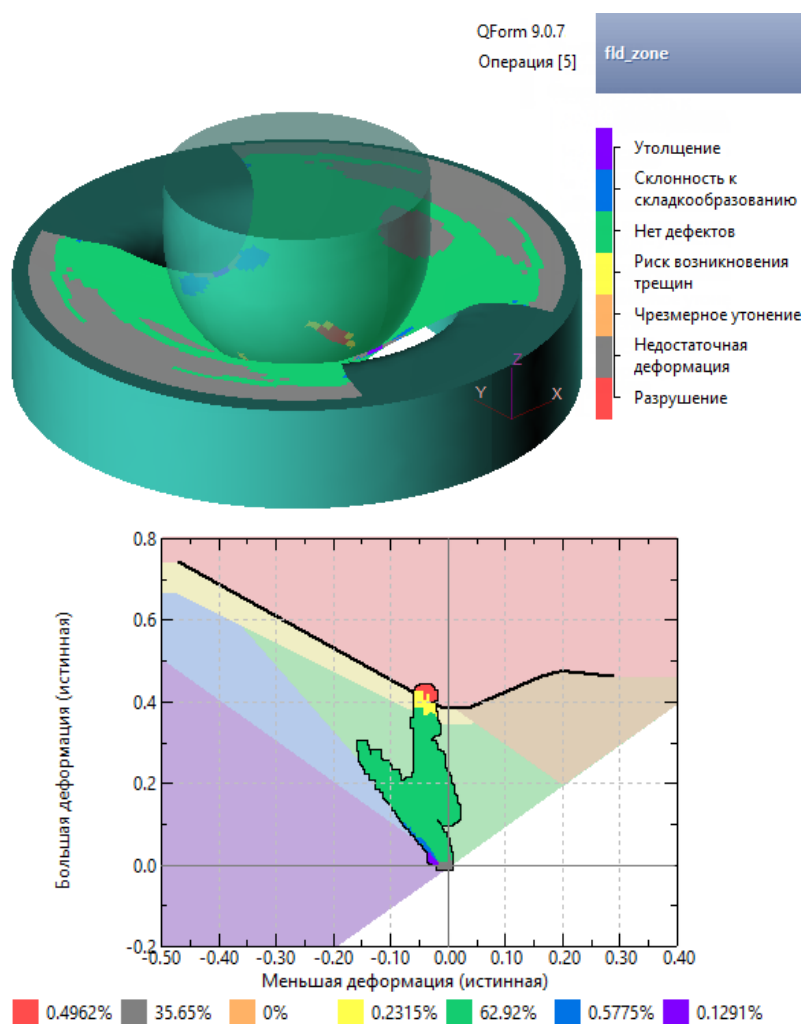


Рис. 5. Результаты расчета подпрограммы определения диаграммы предельного формоизменения в испытании по методу Наказимы круглой заготовки с боковыми вырезами

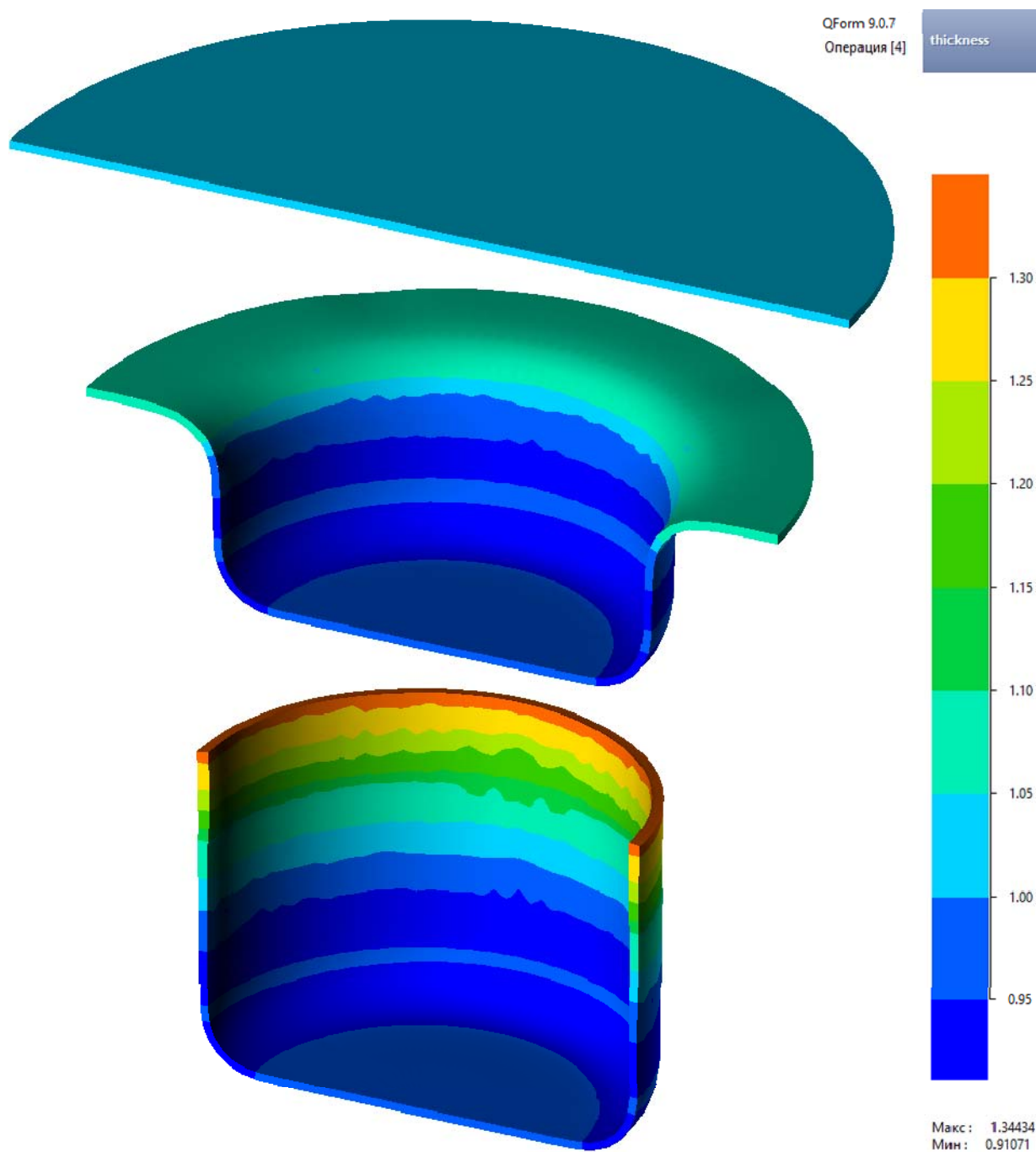


Рис. 4. Результаты расчета подпрограммы определения толщины заготовки на трех стадиях операции вытяжки цилиндрического стаканчика

QForm 9 позволяет производить моделирование с учетом упругих деформации заготовки в процессах формоизменения, а также имеется возможность определения упругой разгрузки заготовки (изменение формы детали при перераспределении и уравнивании внутренних напряжений после удаления внешнего воздействия). На рисунке 6 приведены форма детали в конце обработки и после упругой разгрузки. Деталь получена операцией гибка, исходные данные которой представлены в работе [4].

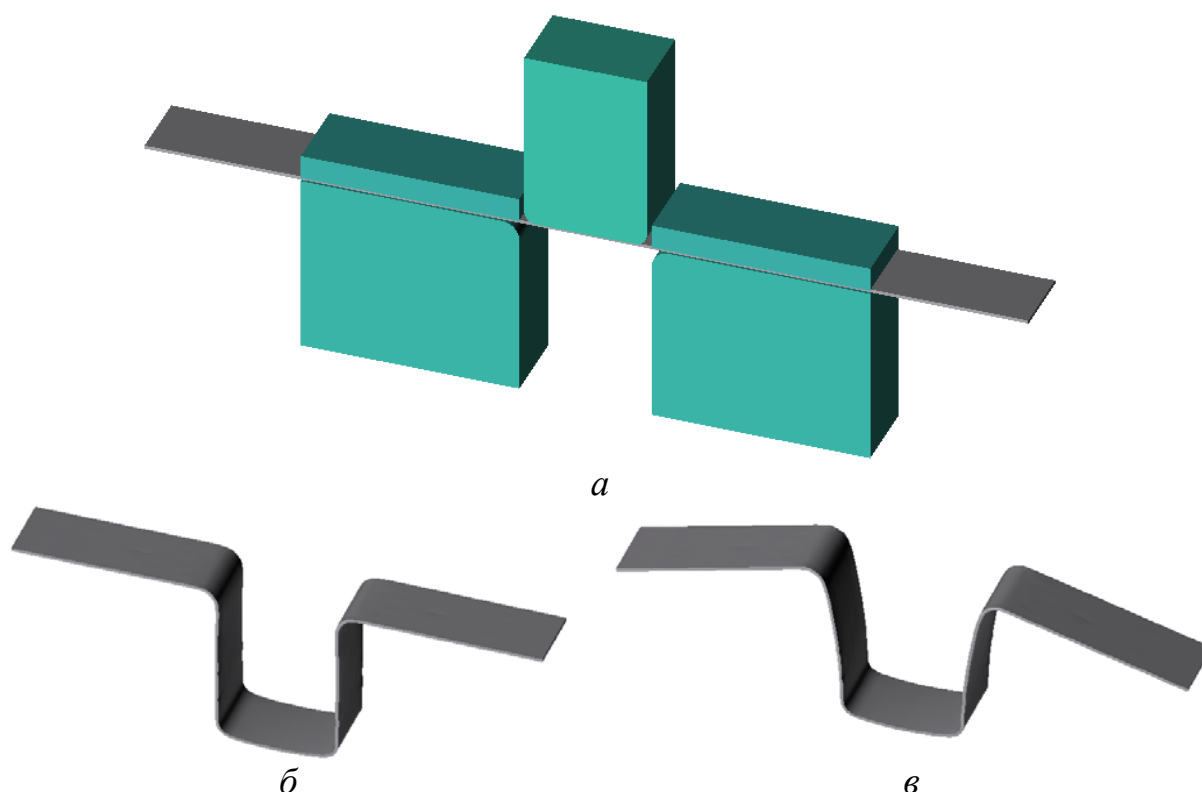


Рис. 6. Моделирование операции гибки с учетом упругих деформации заготовки:

а – расчетная модель операции; *б* – форма детали в конце операции до упругой разгрузки;
в – форма детали после упругой разгрузки

Библиографический список

1. Малинин Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. Учебник для студентов вузов / Н. Н. Малинин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
2. Субич В. Н. Расчет и проектирование процессов объемной и листовой штамповки: Учебное пособие / В. Н. Субич, Н. А. Шестаков, В. А. Демин, Ал. В. Власов. – М.: МГИУ, 2007. – 414 с.
3. Власов Ан. В. Конечно-элементное моделирование технологических процессовковки и объемной штамповки: учебное пособие / Ан. В. Власов, Стебунов С. А., Евсюков С. А., Биба Н. В., Шитиков А. А. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. – 383 с.
4. Chung K, Kuwabara T, Verma RK, Park T (2011) Numisheet 2011 Benchmark 4: Pre-strain effect on spring-back of 2D draw bending. In: Huh H et al (eds) Proceedings 8th NUMISHEET conference. Seoul, Korea, pp 171–175.

УДК 004.94

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОЕКТНОЙ
СТРАТЕГИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДЕЛЕЙ
(ТЭМ) СРЕДСТВАМИ ЯЗЫКА UML
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЭМ**

Шишкин В. В.¹, Таирова Е. А.², Камалов Л. Е.³

1 – Кандидат технических наук, доцент, директор ИАТУ УлГТУ, г. Ульяновск

2 – Аспирант ИАТУ УлГТУ, ведущий специалист по САПР ООО «ТАКАМ-ЦР», г. Ульяновск

3 – Кандидат технических наук, заместитель директора ООО «ТАКАМ-ЦР», г. Ульяновск

Аннотация. Автоматизация проектирования технологических электронных моделей на базе конструкторских требует методик проектирования и средств, встроенных в инструментарий САД-системы. Авторами предлагается расширить язык UML посредством ряда стереотипов, чтобы упростить представление объектной структуры конструкторских и технологических моделей. Также предлагается введение стереотипов для операций геометрического преобразования. Стереотипы связываются с формально-логическим описанием, приводятся оригинальные пиктограммы для оформления графических нотаций

Ключевые слова: электронная модель, САД-система, стереотип, UML.

**AUTOMATION OF FORMING THE DESIGN STRATEGY
OF DIGITAL IN-PROCESS MODELS' BY MEANS OF THE UML
LANGUAGE USING THE DESIGN METHOD DIGITAL IN-PROCESS
MODELS'**

Shishkin Vadim¹, Tairova Ekaterina², Kamalov Leonid³

1 – Ph.D., assistant professor, director of Institute of Aviation Technology and Management Of Ulyanovsk State Technical University

2 – Graduate student of Institute of Aviation Technology and Management Of Ulyanovsk State Technical University, computer-aided design specialist in LLC TAKAM-Digital Solutions

3 – Ph.D., vice CEO LLC TAKAM-Digital Solutions

Abstract. In case, when the new design of digital in-process model basing upon the digital mock-up is required to increase productivity of the process it is necessary to introduce design methodic. In its turn they require automation tools, built-in CAD-system. The designing of such automation tools requires the introduction of the means of formal-logic transformation of geometrical data into the CAD-system tools. Authors propose the extension of UML by several stereotypes to decrease the complexity of the object structure of digital in-process models and mock-ups. Also the stereotypes for the geometrical transformation operations are introduced. Stereotypes are bound to the formal-logic description. The original graphic icons for the graphical notations are proposed.

Keywords: Aircraft Structure, In-process models, Digital Mock-up, UML.

1. Введение

Повсеместное использование цифрового моделирования в России и в мире в передовых разработках создает условия, при которых новая воздушная техника разрабатывается с использованием электронных моделей изделия – ЭМИ (англ. Digital Mock-UP, далее DMU) [1]. Для уже разработанной техники при запуске серийного производства актуально создание ЭМИ ввиду полного технического перевооружения авиационных производств, перехода от плазово-шаблонных технологий к цифровому производству. Разработка ЭМИ изделия воздушной техники является трудоемким процессом, в котором задействованы сотни человек, часто работающих в разных городах с привлечением подрядчиков.

В процессах подготовки производства различают модели конструкторские – КЭМ (DMU), и технологические электронные модели – ТЭМ (англ. Digital In-Process Models, DIPM) [2,3].

2. Проектирование ТЭМ на базе данных КЭМ

Все необходимые данные для формирования ТЭМ есть в КЭМ и требованиях на поставку(изготовление). Однако, этот процесс все еще требует значительных трудозатрат. Данная задача представляет собой новое проектирование, при этом проектировщик может допустить большое количество ошибок, которые приводят к потерям времени и браку. Общепринятых методик для решения данной задачи не существует. Автором предложены такие методики в работе [4]. Сама по себе методика не гарантирует повышения эффективности работы, поскольку в ходе работы с САД-системой проектировщику требуются проектные стратегии, позволяющие эффективно решать задачу.

Методика проектирования представляет собой руководство к решению задачи наивысшего уровня. Она состоит из пунктов, которые обеспечивают достижение этапов проектирования, таких как определение данных, расчеты, построение.

Методика проектирования технологических электронных моделей деталей каркаса авиационной техники заключается в формализации действий конструктора отдела главного технолога (ОГТ) при работе с исходными данными в виде конструкторских электронных моделей и требований на поставку изделий.

Методика проектирования ТЭМ основывается на подходах:

- инжиниринга;
- реверс-инжиниринга;
- дифференциальной геометрии;
- топологии;
- вычисления геометрических характеристик;
- моделировании тел;
- моделировании поверхностей;
- моделировании кривых.

ТЭМ для каждого типа деталей – профиль, панель или лист – имеет свою собственную методику проектирования. Исходными данными для выбора методики является определение типа детали, данные КЭМ, требования на поставку изделия и атрибуты КЭМ. После определения типа детали, выступающей в качестве объекта преобразования, выбирается методика.

Проектная стратегия представляют собой последовательность действий проектировщика в CAD-системе, а именно порядок выполнения проектных операций, которые используются для получения итоговой модели ТЭМ.

Проектный шаг представляет собой группу последовательных проектных операций, который обеспечивает выполнение того или иного пункта методики проектирования.

Повышение эффективности проектирования ТЭМ возможно с помощью инструментов автоматизации проектирования. Поскольку в настоящее время проектирование в технике осуществляется посредством CAD-систем, инструмент также должен быть встроен в CAD-систему. При этом такой инструмент должен обеспечивать выполнение проектных шагов в определенной последовательности, в таком случае он может носить название **автоматизированной проектной стратегии (АПС)** и представлять собой программный модуль-расширение (плагин) для CAD-системы.

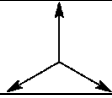
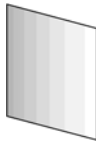
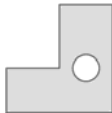
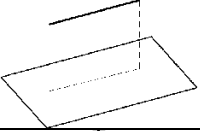
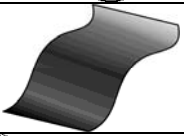
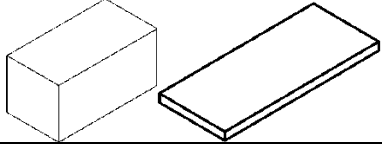
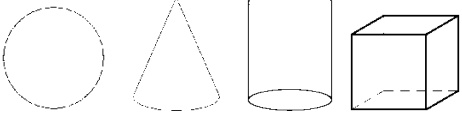
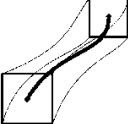
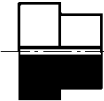
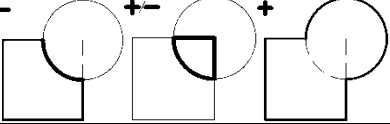
АПС оперирует элементами 3D-модели. Для этого необходимо формировать представление элементов на языке формального описания. Язык формальной математики не позволяет прямо переходить к проектированию программного обеспечения. Требуется язык, который позволяет наглядно описать последовательность проектных операций, и при этом был бы достаточен в описательной части, универсален, расширяем. Таким критериям соответствует язык Universal Modeling Language (UML). Он широко используется для проектирования программного обеспечения, однако его базовых понятий недостаточно для описания объектов, из которого состоит модель. С этой целью удобно использовать механизмы UML, а именно стереотипы.

3. Разработка автоматизированной проектной стратегии с использованием механизмов UML

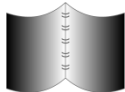
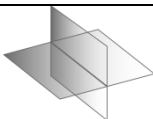
3.1. Стереотипы UML, используемые для описания ЭМИ

Для целей данного исследования при оформлении стереотипов и диаграмм объектов ЭМИ автором предлагаются следующие пиктограммы, представленные в Таблице 1.

Таблица 1 – Пиктограммы для стереотипов

Элементы геометрической структуры	Формально-множественное обозначение	Пиктограмма для графической нотации
1	2	3
Системы координат	СК	
Плоскости	Пл	
Эскизы	Э	
Линии плоские	Лпл	
Линии пространственные	Лпр	
Точки	Тчк	
Кривые	Кр	
Поверхности	Пов	
Тела: твердое тело, листовое тело	ТТ, ЛТ	
Геометрические примитивы	ГП _ш , ГП _к , ГП _ц , ГП _п	
Операции		
Движение траектории по	Дв	
Вращение	Вр	
Булевы операции	БО _в , БО _п , БО _о	

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Сгиб	Сг	
Сшивка поверхностей	Сш _{пов}	
Обрезка поверхности	Обр _{пов}	
Смещение кривой	См _{кр}	
Проецирование кривой	Пр _{кр}	
Кривая пересечения	Кр _{пер}	
Конструктивные элементы		
Отверстие	Отв	
Бобышка	Боб	
Скругление, фаска	Скр, Фс	

3.2. Конструкторская электронная модель

Конструкторская электронная модель детали формируется разработчиком изделия. На завод-изготовитель она поступает в виде геометрической модели без истории построения. Она представляет собой твердое тело, ограниченное поверхностями. Диаграмма объектов КЭМ представлена на рисунке 1. Элементами диаграммы являются:

- Система координат. Объект, относительно которого строится вся остальная модель
- Координатные плоскости. Для трехмерного пространства присутствуют три взаимно перпендикулярные координатные плоскости. Для них установлен стереотип класса <<GmtrBasic>> и стереотип объекта <<Plane of the Coordinates>>;
- Объект твердого тела SheetMetalPart, который ограничивается некоторым количеством поверхностей второго порядка GmtrSurface со стереотипами объекта <<Surface-of-2nd-order>> и класса <<GmtrSurface>>.

Поверхности связаны с твердым телом ассоциацией композиции. Другие элементы не показаны на диаграмме, так как они не несут существенного значения.

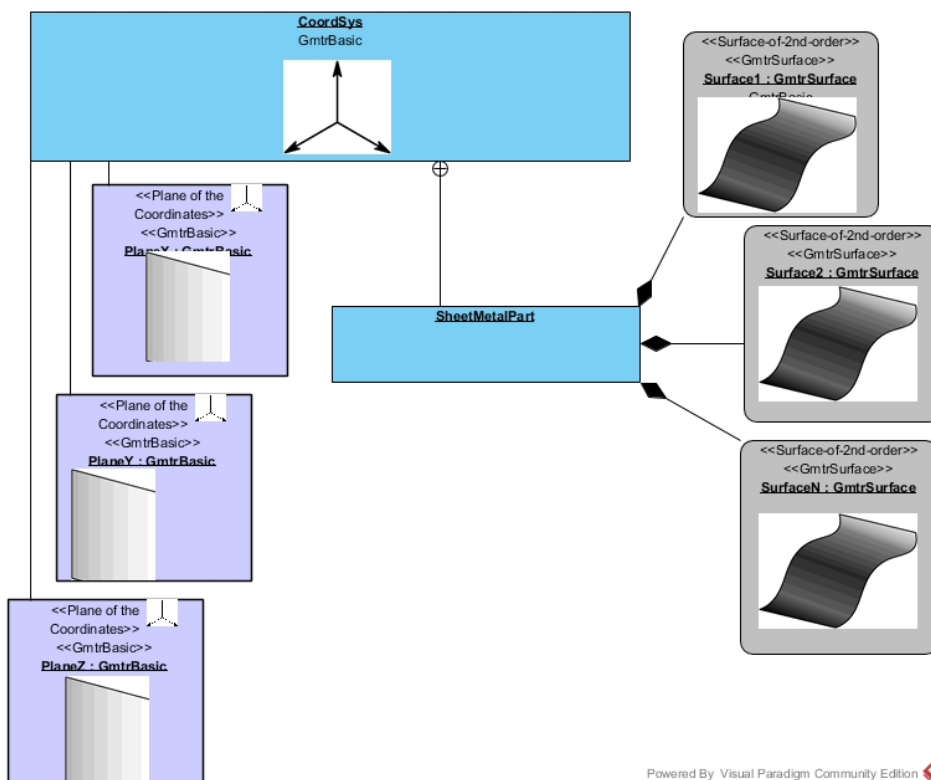


Рис. 1. Диаграмма объектов КЭМ

3.3. Технологическая электронная модель

Преобразование КЭМ в ТЭМ с использованием инструментария формальной логики не представляется возможным. Создание ТЭМ является проектированием и требует способностей человеческого интеллекта. Кроме того, необходимы специальные инструменты, которые позволяют реализовать проектные стратегии в среде САПР.

При создании ТЭМ значительного эффекта можно добиться при наличии АПС, обладающей двумя свойствами:

1. Достаточностью инструментов для проектирования ТЭМ.
2. Поддержкой методики проектирования ТЭМ.

Применение Универсального Языка Моделирования UML для описания цифровых электронных моделей (конструкторских и технологических) позволяет построить использовать подходы объектно-ориентированного программирования для алгоритмизации решения задачи построения ТЭМ на основе КЭМ. При этом необходимо создание стереотипов UML, поскольку проектируемые описания не являются в строгом смысле программным обеспечением. При этом цифровые электронные модели с точки зрения САПР на самом деле являются набором объектов, поскольку состоят из геометрических элементов. Каждое

построение геометрического элемента представляет собой либо создание объекта, либо какую-либо операцию по модификации его свойств.

Для создания описаний UML КЭМ и ТЭМ автором предложено создать ряд стереотипов для классов:

<<GmtrBasic>> — изображает базовые геометрические элементы модели, такие как, точки, кривые, системы координат и т.п.

<<GmtrOperations>> — изображает геометрические операции, такие как движение, вращение, булевы операции

<<GmtrCnstrElements>> — изображает конструктивные элементы, такие как отверстия, проточки, фаски, скругления, пазы и т.п.

<<GmtrTransform>> — изображает преобразования, такие как сгиб, распрямление, определение положения точки на распрямленной кривой.

С использованием данных стереотипов система классов электронной модели будет выглядеть, как показано на рисунке 2. Для полного представления модели необходимо добавить свойства и методы.

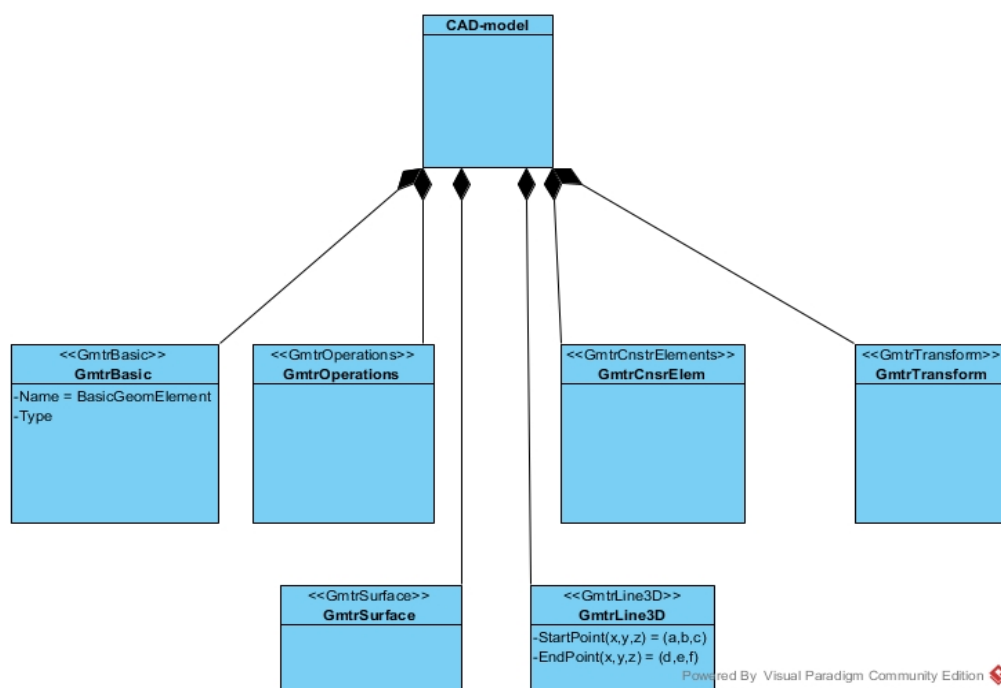


Рис. 2. Диаграмма классов электронной модели

Каждый класс имеет определенный набор свойств, характерный для данных объектов. Необходимо отметить, что данная диаграмма иллюстрирует не проектирование CAD-системы, как программного продукта, а представляет собой описание основы для структуры электронной модели, которая получается с использованием CAD-системы.

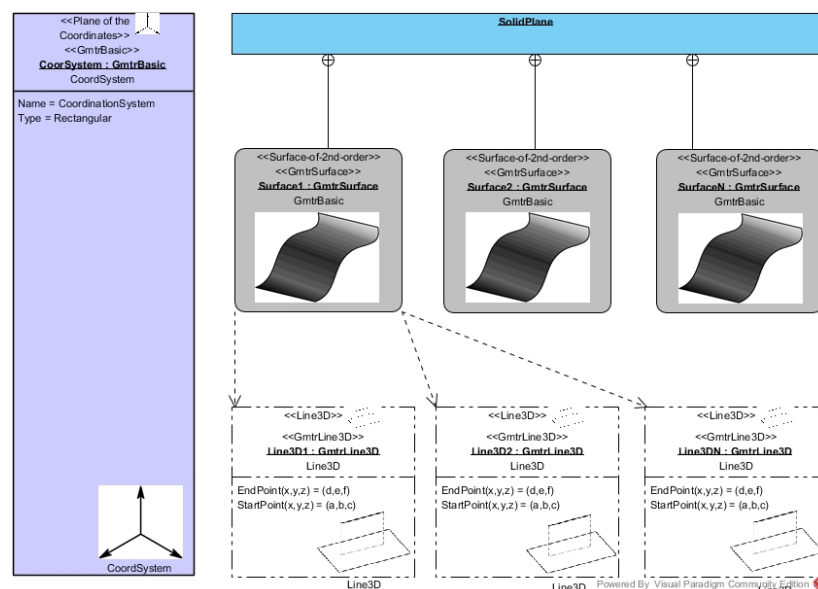


Рис. 3. Диаграмма объектов электронной модели

Пользователь создает объекты, применяя различные инструменты, последовательно приходя к некоторой их системе, как показано на рисунке 3 (модель показана без свойств и методов классов). Данная диаграмма выполнена с использованием стереотипов. Она достаточно трудна для понимания. Поэтому необходимо введение специальных пиктограмм, которые с одной стороны будут облегчать восприятие, а с другой стороны будут представлять собой формальные множества в среде моделирования, что позволит перейти к алгоритмизации проектирования ТЭМ.

На рисунке 4 приведено описание объектов электронной модели с использованием пиктограмм стереотипов.

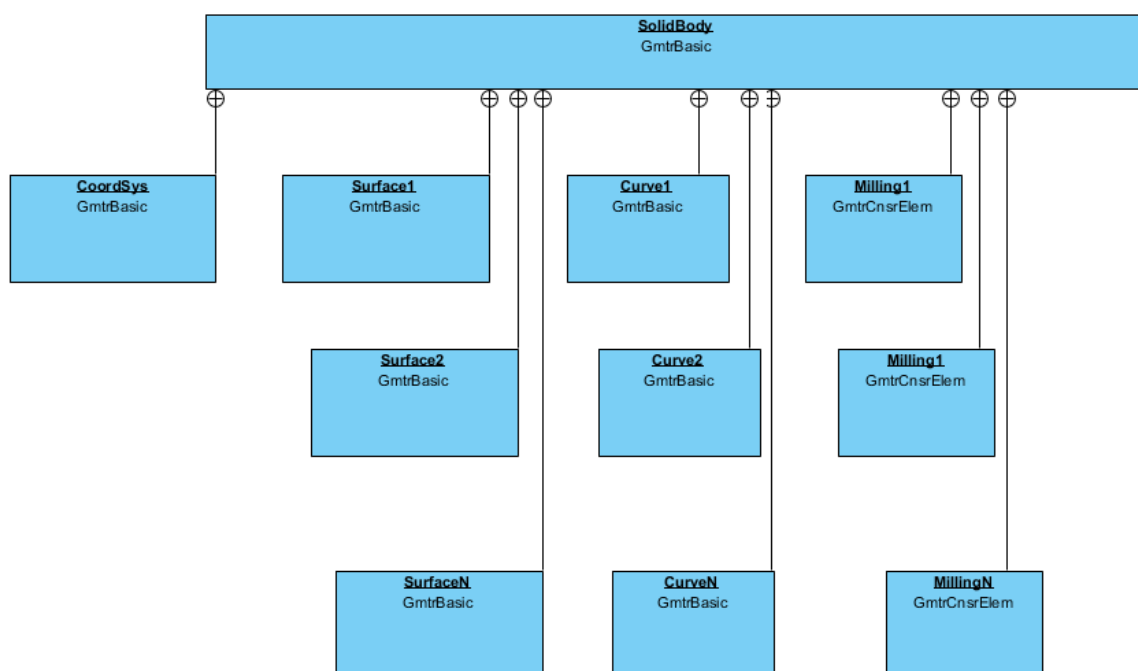


Рис. 4. Диаграмма объектов с пиктограммами стереотипов

На формальном языке логики оно может быть записано так

$TT = \{СК, Пов, Кр, Отв\}$

где ТТ – твердое тело, Пов – поверхность, Кр- кривая, Отв – отверстие.

Основными объектами ТЭМ являются:

- Система координат. Объект, относительно которого строится вся остальная модель
- Твердое тело, которое представляет собой ТЭМ.
- Поверхности SurfaceN, ограничивающие твердое тело со стереотипами объекта <<Surface-of-2nd-order>> и класса <<GmtrSurface>>
- Пространственные линии Line3DN, ограничивающие поверхности со стереотипами объекта <<Line3D>> и класса <<GmtrLine3D>>

Данное описание служит исходными данными для построения на его основе новых геометрических моделей. Средства проектирования UML имеют возможности создания исходного кода на высокоуровневых языках программирования для сокращения времени создания программы. Однако, для построения ТЭМ на базе КЭМ требуется формализовать операции преобразования.

3.4. Определение инструментальных операций

Для преобразования могут быть использованы различные операции, уже имеющиеся на сегодняшний день в САД-системах. Для целей исследования также необходимо заострить внимание на следующих операциях:

1. Спрявление кривой. Обозначает построение отрезка прямой с длиной равной длине отрезка исходной кривой.
2. Нахождение точки на спрявленной кривой. Обозначает построение точки на отрезке прямой, делящей отрезок в той же пропорции, что и точка на исходном отрезке кривой.
3. Спрявление поверхности. Размещение всех точек исходного участка поверхности на плоскости с сохранением инцидентности и принадлежности вершин и ребер друг относительно друга.

Если принять, что построение ТЭМ на базе КЭМ будет представлять собой отображение множества элементов ТЭМ в пространство элементов КЭМ, тогда для формализации данной процедуры необходимо определить операции. Построение ТЭМ в таком случае будет представлять собой некоторую последовательность формализованных операций. Они должны быть реализованы в виде функций САД-системы. Управление функциями осуществляется пользователем, при этом автоматизируются построения и вычисления.

Инструментальная среда и методика реализуются в качестве приложения для САПР в виде интегрированного средства, обеспечивающего проектировщика необходимыми операциями для создания ТЭМ.

4. Выводы

Согласно стандартам и общепринятым подходам к созданию ЭМИ объектная модель ТЭМ или КЭМ представляет собой множество геометрических элементов — поверхностей, ребер, вершин. Формально-логическое представление модели позволяет качественно проанализировать ее состав, определить свойства и инструменты для ее формирования и модификации. Графическое представление с использованием нотации UML широко применяется при проектировании программных средств. Предложено использовать универсальный язык моделирования UML для моделирования объектного состава ТЭМ, а также для моделирования процесса получения ТЭМ на базе КЭМ. В качестве итогов третьей главы работы можно назвать следующее:

1. Предложены формально-логические модели КЭМ и ТЭМ, позволяющие описать ЭМИ на языке математического моделирования. Это позволяет определить необходимые и достаточные сущности для создания ТЭМ на базе геометрических данных КЭМ.
2. Предложено графическое представление объектной структуры ЭМИ (ТЭМ и КЭМ). Разработано расширение универсального языка моделирования UML в виде стереотипов для классов и объектов, из которых формируется ЭМИ в среде САПР. Стереотипы характеризуются тем, что объекты, которые они моделируют, являются геометрическими объектами, составляющими ЭМИ, а не объектами в смысле, который понимается в ходе разработки программного обеспечения. Использование UML позволяет применить принципы разработки программного обеспечения к процессу создания ТЭМ.
3. С использованием графического расширения UML разработана программная реализация инструментальной среды и методики создания ТЭМ. Это позволяет автоматизировать написание приложения для САПР, которое позволяет использовать ранее определенные геометрические операции, необходимые при создании ТЭМ и отсутствующие в применяемых в авиастроении САПР. Разработанное дополнение для САПР также воплощает методику проектирования, обеспечивая пользователю проектную стратегию для создания ТЭМ.

Библиографический список

1. Национальная технологическая инициатива[Электронный ресурс]. –URL: <http://www.nti2035.ru/technology/technet> (15.02.2020).
2. Формирование технологического состава изделия и разработка технологических процессов по маршруту изготовления технологических исполнений детали / А. Вепрев, С. Стреляев, С. Бушков // САПР и графика. - 2010. N 1. С. 81-83

3. ГОСТ Р 58301-2018. Управление данными об изделии. Электронный макет изделия. Общие требования.

4. Tairova K, Shiskin V and Kamalov L. Design Automation of Digital In-Process Models of Parts of Aircraft Structures – Recent Research in Control Engineering and Decision Making. Olga Dolinina et. al (eds.). Springer, Cham, 2019, DOI <https://doi.org/10.1007/978-3-030-12072-6>, pp 138 – 148

Секция 3

«Подготовка производства»

УДК 620.181.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА ИЗ СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Mg-Li ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕПЛОВЫХ ЭФФЕКТОВ

Агафонова Д.В.¹, Михеев В.А.²

1 – аспирант каф. «обработка металлов давлением» Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, г. Самара.

2 – д.т.н, профессор каф. «обработка металлов давлением» Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, г. Самара.

Аннотация. В статье представлены результаты проведенного исследования теплового воздействия на листовой материал системы Al-Mg-Li. Выявлены условия появления эффекта периодичности пластической деформации относительно стационарных температур при прокатке образцов.

Ключевые слова: алюминий-литиевый сплав, режимы прокатки, изотермическое дискретное сканирование, прокатанные образцы.

THE DEFINITION OF MODES OF ROLLING A SHEET MATERIAL MADE OF AL-MG-LI ALLOY UNDER THE INFLUENCE OF THERMAL EFFECTS

Agafonova D. V.¹, Mikheev V. A.²

1 – Graduate student of Samara National Research University, Processing of metals by Pressure, Samara.

2 – Doctor of technical sciences, professor of Processing of metals by Pressure, Samara National Research University, Samara.

Abstract. The article presents the results of the study of the thermal effect on the sheet material of the Al-Mg-Li system. The conditions for the appearance of the plastic deformation periodicity effect relative to stationary temperatures during sample rolling are revealed.

Keywords: aluminum-lithium alloy, rolling modes, isothermal discrete scanning, rolled samples.

Алюминий-литиевые сплавы широко применяются в мировом авиастроении для создания перспективных летательных аппаратов с улучшенными техническими характеристиками. Литий не просто придает уникальные свойства алюминиевым сплавам, он позволяет повысить прочность и модуль упругости при снижении плотности. Кроме того, данные сплавы обладают наилучшим комплексом механических, эксплуатационных и коррозионных характеристик, позволяющих конкурировать с традиционными алюминиевыми сплавами и полимерными композиционными материалами.

Сформулировано направление интенсификации процессов деформирования и повышения эксплуатационных характеристик изделий. Его основная идея заключается в том, что с помощью тепловых воздействий

на алюминий-литиевые сплавы (1420) можно будет реализовать процесс получения листов 0,2-0,5мм.

Проведенные нами фундаментальные исследования базируются на приложениях теории температурного анализа к процессам деформирования лёгких металлов и сплавов [1], которые всегда сопровождается тепловыми эффектами. Они позволяли изучать физико-химические процессы, протекающие в материале по выделяющемуся или поглощенному теплу, регистрируемому на диаграммах. Характерные эффекты на них связывают с образованием или разложением химических соединений. Есть так же возможность исследовать происходящие процессы, наоборот, под влиянием тепла или в случае многокомпонентных систем.

Поэтому за основу был выбран метод изотермического дискретного сканирования (ИДС) именно он был использован для исследования связи внутренних температурных распределений с деформационными эффектами. Выбор метода ИДС в исследовании обусловлен так же тем, что такие внутренние температурные распределения имеют общие закономерности свойств, независимо от сложности строения вещества или материала.

Для экспериментальной части были подготовлены 28 образцов из холоднокатаного листа системы Al–Li–Mg сплава (рисунок 1) и толщиной 1,8 мм для последующей холодной прокатки на лабораторном прокатном стане K220-75/300, а также перед прокаткой каждый образец был нагрет до температуры (от 25⁰С до 750⁰С) по методу ИДС и выдержан в печи одну минуту (рисунок 2).

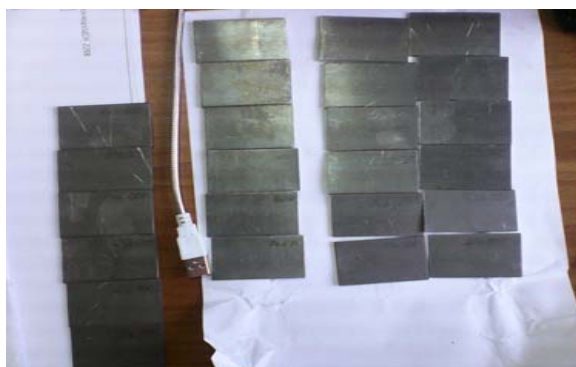


Рисунок 1 – Образцы из холоднокатаного листа системы Al–Li–Mg сплава



Рисунок 2 – Программные печи по режиму изотермического дискретного сканирования

Каждый образец после индивидуального нагрева (в течении 1 минуты) по методу ИДС был прокатан за четыре прохода на лабораторном стане с фиксированием значений толщины и усилия прокатки.

Также каждый образец после четвертого прохода был испытан на микротвердость вдавливанием индентора на приборе ПМТ-3 (нагрузка на индентор составляла порядка 100 грамм) (рисунок 3,4), по результатам построена диаграмма (рисунок 5).



Рисунок 3,4 – Работа за прибором ПМТ-3. Испытание образцов на микротвердость

Оценка отклика материала образца на изменение температуры как внутреннего распределения и установление закономерностей является задачей температурного анализа кинетических кривых. Он включает в себя анализ кинетических кривых и температурный анализ, которые проводятся постоянно, последовательно, неразрывно друг от друга с целью совершенствования метода и получения яркой картины внутренних изменений в образце при изменении внешней температуры для дальнейшего использования в технологии прокатки.

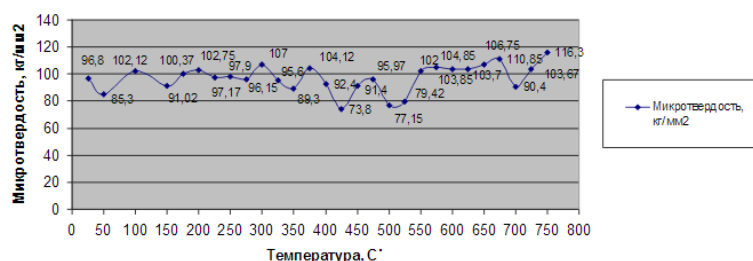


Рисунок 5 – Зависимость микротвердости от температуры ИДС образцов после четвертого прохода прокатки

Предварительные исследования процесса прокатки образцов из сплава 1420 толщиной 1,8 мм методом ИДС показывают явную периодичность зависимости усилия прокатки и микротвердости образцов от их температуры ИДС, которые хорошо согласуются с периодичностью относительно стационарных температур (T_{π}). Некоторые значения стационарных температур попали в температурный ряд индивидуального нагрева каждого образца по режиму метода ИДС, например: 171,5; 514,5 °С.

Имеется предположение, что стимулируя структурные превращения материала при его переходе в процессе нагрева соответствующего образца через стационарные температуры, открывается дополнительный канал диссипации упругой энергии, демонстрирующий принцип цикличности пластической деформации при его прокатке. Это может служить ориентиром для выбора соответствующих температур и времени нормируемой тепловой активации и технологическими условиями прокатки листового материала сплава 1420 с привязкой к исходной толщине[2].

Для второй части эксперимента были подготовлены образцы той же системы, но толщиной 4,8 мм. Из него аналогично предварительно были вырезаны образцы в количестве 18 штук для последующей холодной прокатки. Перед прокаткой группа была разбита на две партии: 10 штук и 8 штук. В каждой подгруппе был апробирован индивидуальный режим ИДС со своими значениями температур и времени выдержки в термографе две или три минуты. Значения обжаты по переходам равно 0,380. Скорость прокатки составляла 1,0 м/мин. Полученные данные сведены в таблицы.

Каждый образец толщиной 4,8 мм перед холодной прокаткой был нагрет до определенной температуры и выдержан в печи три минуты для первой партии и две минуты для второй партии. Это рассматривается как условие оптимизации.

Графики изменения усилия от номера прохода в зависимости от скорости прокатки и температуры нагрева ИДС образца приведены на рисунках 6, 7, 8 и 9. Кроме того, на рисунках 10 выборочно показаны фото образцов 3 и 4 первой партии после их прокатки, а на рисунках 11 выборочно показаны фото образцов 4 и 7 второй партии после их прокатки.

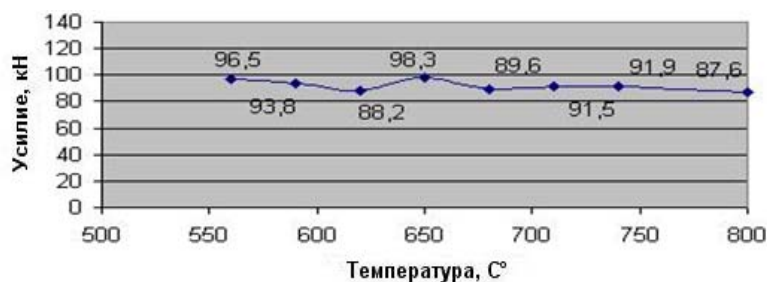


Рисунок 6 – Зависимость усилия прокатки от температуры ИДС образцов первой партии при первом проходе

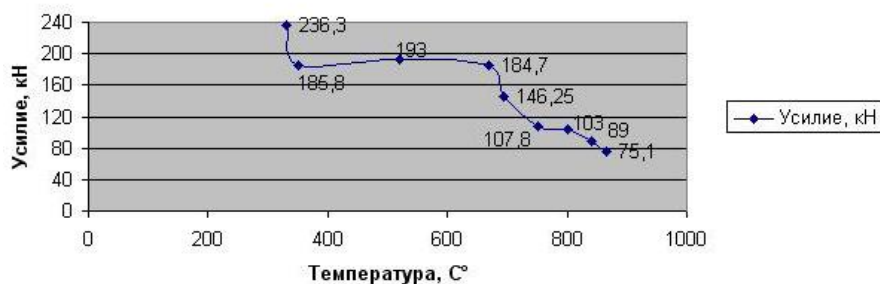


Рисунок 7 – Зависимость усилия прокатки от температуры ИДС образцов первой партии при втором проходе



а

б

Рисунок 8 – Образец 3 а) и образец 4 б) после второго прохода прокатки

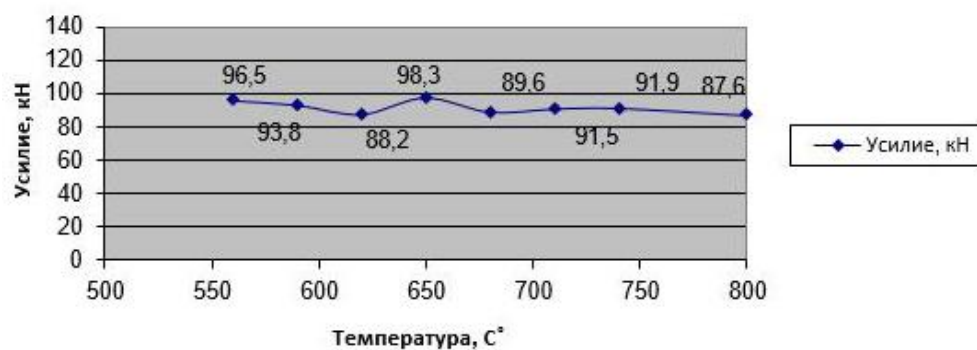


Рисунок 9 – Зависимость усилия прокатки от температуры ИДС образцов второй партии при первом проходе

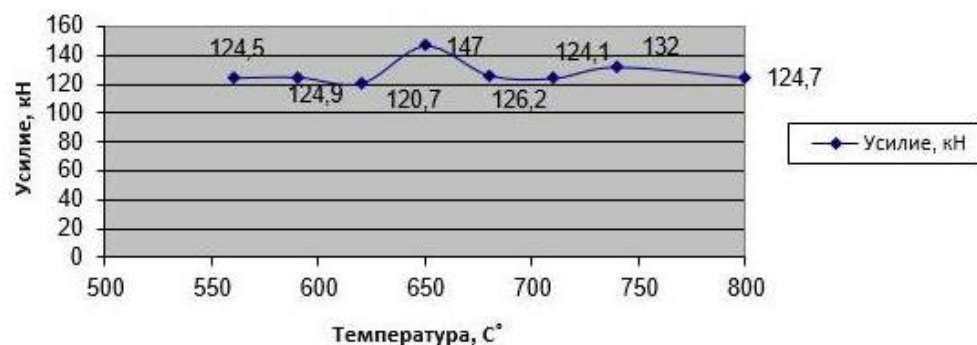
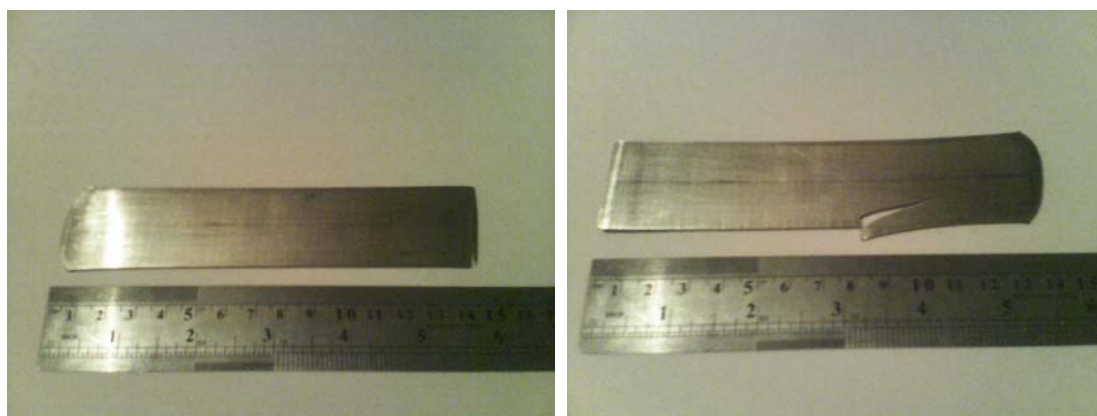


Рисунок 10 – Зависимость усилия прокатки от температуры ИДС образцов второй партии на втором проходе



а

б

Рисунок 11 – Образец 4 (а) и образец 7 (б) после второго прохода прокатки

Установлена явная периодичность зависимости усилия прокатки образцов от их температуры ИДС, которые хорошо согласуются с периодичностью относительно ряда стационарных температур (T_{π}). Некоторые значения стационарных температур попали в температурный ряд индивидуального нагрева каждого образца по режиму метода ИДС, например: для образцов толщиной 1,8 мм: 171,5; 514,5 °С; для образцов толщиной 4,8 мм: 514,5; 857,5 °С.

Благодаря полученным научным результатам есть возможности решения проблемы с разупрочнением материала при холодной прокатке в технологическом аспекте. Теория температурного анализа позволяет изучать физико-химические процессы [3,4], протекающие в материале по выделяющемуся или поглощенному теплу, регистрируемому на диаграммах, а характерные эффекты на них связывают с образованием или разложением химических соединений.

Библиографический список

1. Дорошко Г.П. Введение в температурный анализ свойств материала. [Текст] / Г.П. Дорошко // Самарск. гос. арх.-строит. ун.-н. – Самара, 2007. – 396 с.
2. Дорошко, Г.П. Условие совместимости металлов за пределом деформирования / Современные металлические материалы и технологии (СММТ' 2015): Труды международной научно-технической конференции. 23-27 июня 2015г. Т2.-СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2015. С. 560–570.
3. Агафонова Д.В. Влияние тепловых эффектов на определение режимов при прокатке листа Al-Mg-Li. [Текст] / Д.В. Агафонова // Lap Lambert Academic Publishing. 2019. –94 с.
4. Mikheev V.A. A new method of metallic alloys producing with interphases, which reformed coherent coupling of compounds' atoms [Текст] / V.A. Mikheev, G.P. Doroshko // Key Engineering Materials, 2016.

УДК 621.763

**МЕХАНИЧЕСКОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ
УГЛЕРОДОМ****Веткасов Н.И.¹, Капустин А.И.², Сапунов В.В.³**

1 – д.т.н., профессор кафедры «Инновационные технологии в машиностроении» УлГТУ, г. Ульяновск.

2 – заведующий лабораторией УлГТУ, г. Ульяновск.

3 – к.т.н., доцент кафедры «Инновационные технологии в машиностроении» УлГТУ, г. Ульяновск.

Аннотация. В статье приведен обзор отечественных и зарубежных публикаций, посвященных исследованию процесса МЛ алюминиевого порошка различными формами углерода. Разработана базовая технология МЛ матричного порошка алюминия марки ПАД-1 техническим углеродом марки К 354. Определены основные стадии формирования порошковых композиций на основе алюминия в процессе МЛ алюминиевого порошка техническим углеродом. Показаны результаты анализа поэтапного изменения морфологии (поэтапной эволюции) обрабатываемых порошковых смесей матричного материала и легирующей добавки в процессе формирования композиционных гранул с требуемыми физико-механическими параметрами.

Ключевые слова: композиционный материал, алюминий, аморфный углерод, механическое легирование, композиционные гранулы.

**MECHANICAL ALLOYING OF ALUMINUM WITH TECHNICAL
CARBON****Vetkasov N.I.¹, Kapustin A.I.², Sapunov V.V.³**

1 - Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Innovative Technologies in Mechanical Engineering, UlSTU, Ulyanovsk.

2 - Head of the Laboratory, UlSTU, Ulyanovsk.

3 - Ph.D., associate professor of the department "Innovative Technologies in Mechanical Engineering" UlSTU, Ulyanovsk.

Abstract. The article provides an overview of domestic and foreign publications devoted to the study of the ML process of aluminum powder by various forms of carbon. The basic technology has been developed for the ML matrix matrix powder of aluminum grade PAD-1 with technical carbon grade K 354. The main stages of the formation of powder compositions based on aluminum in the process of ML aluminum powder with carbon black have been determined. The results of the analysis of a phased change in the morphology (phased evolution) of the processed powder mixtures of the matrix material and the dopant during the formation of composite granules with the required physical and mechanical parameters are shown.

Keywords: composite material, aluminum, amorphous carbon, mechanical alloying, composite granules.

Важным направлением современного развития техники является применение новых композиционных дисперсно-упрочненных материалов. В частности, все большее применение находят композиционные материалы этого класса на основе алюминия [1]. Они имеют благоприятное сочетание эксплуатационных свойств: конструкционных, антикоррозионных и др. [2].

В основу технологии синтеза дисперсно-упрочненных композитов положено применение процесса механического легирования (МЛ) порошковых материалов. МЛ позволяет создавать активные состояния в твердом теле матричного материала, которые являются центрами физического и химического межфазного взаимодействия компонентов порошковых композиций [3].

Получение порошковых композиций для последующего формирования композитных наноструктурированных материалов $Al - Al_4C_3$, $Al - Al_4C_3 - Al_2O_3$, $Al - C$, $Al - CNT$ – перспективных материалов для применения в авиастроении и машиностроении – является актуальной задачей, поскольку композит обладает уникальными свойствами, недостижимыми при других методах производства [4].

Известно, что эффективность МЛ в первую очередь определяется равномерностью дисперсии наноразмерных частиц углерода в алюминиевой матрице. При этом повторная деформация, холодная сварка и фрагментация частиц во время процесса МЛ вызывают изменение морфологии в углеродных наполнителях и могут даже привести к их полному разрушению в случае использования жестких режимов легирования. В ряде исследований утверждается, что холодная сварка частиц алюминиевой матрицы вокруг УНТ защищает их от повреждений. В работе отмечается, что карбидные наноструктуры преимущественно формируются в местах структурного беспорядка, нанодефектов и открытых концов многостенных углеродных нанотрубок. Сообщается, что реакция между поврежденными УНТ и алюминием может происходить при более низкой температуре в процессе МЛ. В ряде публикаций приводится информация о влиянии таких параметров, как продолжительность процесса МЛ, интенсивность легирования, атмосфера процесса и размер исходного порошка алюминия, на степень повреждения УНТ в процессе МЛ [5].

С целью разработки рекомендаций по проектированию технологических процессов получения алюмоматричных композитов было проведено исследование процесса механического легирования алюминия техническим углеродом. Для получения экспериментальных образцов композиционных гранул использовали следующие исходные материалы: порошок алюминиевый первичный дисперсный марки ПАД-1 (СТО22436138-006-2006), порошок углерода технического К 354 (ГОСТ 7885).

Алюминиевый порошок предварительно просеивали через сито с размером ячейки 30 мкм. Гранулированный порошок аморфного углерода

подвергали предварительному измельчению в механическом реакторе (МР) в течение 10 мин с целью разрушения гранул и агломератов.

Процесс легирования проводили в МР оригинальной конструкции, которая включает два внутренних виброэлемента, закрепленных на единой горизонтальной оси, создающих вибросиловые воздействия на шаровые помольные тела в двух взаимно перпендикулярных направлениях с фазовым сдвигом 30° . Кроме этого, в рабочей камере установлены специальные элементы конструкции, образующие внутренние конические поверхности с различными углами при вершине с двух сторон рабочей камеры. Углы при вершине определяли эмпирическим путем. Данные элементы выполняли функцию поворота плоскости вибрации с формированием встречно направленных потоков шаров, чем достигается увеличение интенсивности механического истирания и «холодной сварки». МР оснащен устройством отбора проб шихты (пробоотборником) и помольных тел, позволяющем проводить анализ шихты и величины плакирующего слоя на помольных телах в любой момент времени процесса МЛ.

Морфологию и размер частиц порошка ПАД-1 и композиционных гранул оценивали с помощью сканирующего электронного микроскопа PHENOM Pro X и цифрового микроскопа Dino-Lite AM4112PT. Рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ проводили на дифрактометре ДРОН-3М в Cu -излучении, при этом по уширению дифракционных линий определяли размеры областей когерентного рассеяния (ОКР) композиционных гранул. Размер ОКР, как правило, отождествляют со средним размером кристаллитов. При этом размер ОКР обычно несколько ниже результатов определения размера кристаллитов с помощью электронной микроскопии, поскольку ОКР соответствует внутренней (упорядоченной) области кристаллитов и не включает сильно искаженные границы [6].

Микротвердость измеряли при помощи твердомера Tukon 1102 Micro Vickers методом Виккерса. Нагрузку индентора варьировали в диапазоне от 10 до 100 г. Время выдержки составляло 10 с.

Анализ полноты внедрения технического углерода в матрицу алюминиевого порошка оценивали по содержанию свободного углерода в шихте после исследуемой стадии легирования.

Разработанная базовая технология МЛ матричного порошка ПАД-1 техническим углеродом K354 имела следующие параметры (при ее реализации с применением авторской конструкции двухвибраторного МР): число оборотов вибратора – 600 об/мин (с применением реверса через каждые 30 мин); мелющие тела – шары из стали ШХ15 диаметром 10 мм; массовое соотношение шаров и шихты – 55:1. В ходе процесса производили периодический поворот (по часовой, а затем против часовой стрелки) рабочей камеры вокруг оси через каждые 15 мин на угол 90° . Длительность 1-й стадии процесса МЛ составила 60 мин, общая длительность процесса – 150 мин. Обработку производили среде аргона.

Полученную смесь композиционных гранул подвергали холодному компактированию в брикеты под давлением 600 МПа до плотности $2,4 \text{ г/см}^3$, из которых формовались заготовки для поведения процессов

Образцы имели форму таблеток диаметром 39 мм и толщиной 10 мм, которые подвергали термообработке в вакууме с выдержкой 2,5 часа при заданной температуре. Температурой термообработки (спекания) варьировали в диапазоне 545...590 °С.

На следующем этапе проводили горячее прессование образцов под давлением 600 МПа до плотности $2,7 \text{ г/см}^3$, при этом диаметр таблеток увеличивался до 39,5 мм. Температурой горячего прессования варьировали в диапазоне 470...520 °С. Твердость образцов измеряли на твердомере ТР 150 по шкале HRB. Среднее значение твердости образцов после горячего прессования составило 88 единиц [7].

Затем образцы подвергали процессу экструзии. Коэффициентом экструзии варьировали в диапазоне 12...24. Температурой экструзии варьировали в диапазоне 460...505 °С, при этом максимальной температуре экструзии соответствовала максимальная температура горячего прессования.

В ходе исследований установлено, что на первой стадии механического легирования происходит «усвоение» матричным материалом легирующей добавки. На этой стадии вначале наблюдается измельчение порошка исходной шихты с уменьшением ее насыпной массы, а затем укрупнение (в результате соединения холодной сваркой частиц деформируемого исходного матричного алюминиевого порошка с захватом легирующего материала и образованием композиционных гранул), как правило, до достижения насыпной плотности, близкой к исходному значению плотности обрабатываемой шихты. В этот же период происходит уменьшение концентрации легирующего углерода в шихте в связи с его переходом в массив начинающихся формироваться композиционных гранул. Химический состав и структура композиционных гранул на этой стадии еще не стабилизированы. Легирующий компонент распределяется равномерно по объему композиционных гранул. В проводимых исследованиях критерием завершения этой стадии принят уровень свободного углерода в шихте не более 0,1 % от общей массы шихты.

На этой стадии также происходит формирование плакирующего слоя на помольных телах и внутренних поверхностях МР, близкого по составу композиционным гранулам.

На второй стадии, в так называемом установившемся режиме МЛ, происходит активное окончательное формирование внутренней структуры композиционных гранул, уже полностью «усвоивших» легирующий углерод, с некоторым изменением их формы и, соответственно, гранулометрического состава. Процессы второй стадии МЛ проходят в условиях сформировавшегося плакирующего слоя, который находится в состоянии равновесного массообмена с обрабатываемыми композиционными гранулами. На этой стадии происходит определенный разогрев смеси,

помольных тел и элементов конструкции МР. Растет количество дефектов решетки матричного материала, активизируются процессы холодной сварки, интенсивно происходит образование зон твердого раствора $Al(C)$, пронизывающих матрицу композиционных гранул и являющихся зародышами образования упрочняющей фазы карбида алюминия. Микротвердость композиционных гранул нарастает по линейному закону, достигая установившегося максимума (в среднем 1050 МПа) [8].

Критерием завершенности второй стадии и процесса МЛ в целом являлось достижение микротвердости композиционных гранул максимального установившегося значения.

Анализ трансформации морфологии и размеров исходного порошка и композиционных гранул непосредственно в процессе МЛ проводили на различных этапах процесса МЛ. На первых этапах процесса МЛ наблюдается измельчение компонентов, затем образование частиц чешуйчатой формы, сопровождающееся снижением насыпной плотности обрабатываемой шихты. В процессе многократной холодной сварки частиц с образованием композиционных гранул происходит их объемное увеличение и уплотнение с одновременным увеличением насыпной плотности.

Рентгенофазовый анализ скомпактированных композиционных гранул, выполненный с целью оценки полученных структурных и фазовых параметров, дал следующие результаты. Дифрактограммы исходного порошка ПАД-1, а также образцов, скомпактированных из композиционных гранул, легированных техническим углеродом, не прошедших термическую обработку, содержат только рефлексы, соответствующие дифрактограмме исходного порошка алюминия.

Дифрактограмма образца, легированного аморфным углеродом после термообработки, выполненная при уменьшении шага сканирования в пять раз ($0,02^\circ$), выявила слабые рефлексы, характерные для карбида алюминия и свидетельствующие о появлении зародышей химического соединения.

После повторной термообработки с повышением температуры интенсивность данных рефлексов существенно увеличивалась, что свидетельствует, в частности, о выводе из твердого раствора части аморфного углерода и его участии в образовании упрочняющих фаз карбида алюминия. Атомы освободившегося углерода, согласно принятым представлениям, начинают участвовать как в укрупнении уже образовавшихся частиц карбида алюминия, так и в образовании новых частиц карбидов, что приводит к увеличению их количества в объеме композиционных гранул. Во время термообработки происходит рост уже имевшихся «зародышей» карбидов алюминия, которые возникли в результате синтеза композиционных

Таким образом, на основании проведенных исследований разработана технология МЛ алюминиевого порошка ПАД-1, обеспечивающая получение композиционных гранул с микротвердостью, превышающей микротвердость исходного порошка не менее чем в 4 раза. Подтверждена предложенная

авторами концепция двухстадийности протекания процесса МЛ. На первой стадии происходит усвоение углерода алюминием, на второй – формирование внутренней нанокристаллитной структуры композиционных гранул.

Библиографический список

1. Ostovan F., Matori K.A., Toozandehjani M., Oskoueian A., Yusoff H.M., Yunus R., Ariff A.M., Quah H.J., Lim W.F. Effects of CNTs content and milling time on mechanical behavior of MWCNT-reinforced aluminum nanocomposites // Materials Chemistry and Physics. 2015. Vol. 166. P. 160–166.
2. Narayanan S.S., Manickavasaham G., Moorthy S. Experimental Investigation of Aluminium alloy with MWCNT Composite to increase the technical Properties by Stir Casting Method // IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. 2015. Vol. 12. Ver. II. P. 30–34.
3. Peng T., Chang I. Mechanical alloying of multi-walled carbon nanotubes reinforced aluminum composite powder // Powder Technology. 2014. Vol. 266. P. 7–15.
4. Веткасов Н.И., Капустин А.И., Сапунов В.В. Разработка и применение процесса предварительного формирования высокооднородной сухой смеси "алюминиевый порошок - одностенные УНТ" в технологии получения алюмоматричных композитов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2018. – № 3 (45), С. 14 – 21.
5. Веткасов Н.И., Капустин А.И., Сапунов В.В. Исследование процесса механического легирования алюминия наноразмерными аллотропными модификациями углерода // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2017. – № 3 (41), С. 24 – 34.
6. Веткасов Н.И., Капустин А.И., Сапунов В.В. Формирование фазового состава, структурных параметров и физико-механических свойств композиционных гранул в процессе механического легирования алюминия аллотропными формами углерода // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2017. – № 12 (207), С. 7 – 11.
7. Веткасов Н.И., Капустин А.И., Сапунов В.В. Разработка и исследование процесса получения алюмоматричной композиции, механически легированной техническим углеродом, и композиционного материала из неё // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – № 3., С. 435-441.
8. Веткасов Н.И., Капустин А.И., Сапунов В.В. Получение, микроструктура и микротвердость легированных углеродом алюмоматричных композитов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2018. – № 6 (67), С. 23 – 31.

УДК 620.1:621.365

ДИАГНОСТИКА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ РАДИОВОЛНОВЫМ МЕТОДОМ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОГО НАГРЕВА

Дмитриенко Г.В.¹, Сельцов Е.В.²

1 – профессор, доктор технических наук, кафедра Самолетостроение, УлГТУ ИАТУ, г. Ульяновск.

2 – аспирант, кафедра Самолетостроение, УлГТУ ИАТУ, г. Ульяновск.

Аннотация. В статье рассмотрены математические модели для диагностики свойств, полимерных композиционных материалов радиоволновыми методами.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, диэлектрическая проницаемость, нагрев композита.

DIAGNOSTICS OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS BY THE RADIO WAVE METHOD UNDER CONDITIONS OF NON-STATIONARY HEATING

Dmitrienko G.V.¹, Seltsov E.V.²

1 - Professor, Doctor of Technical Sciences, Department of Aircraft Engineering, UlSTU IATU Ulyanovsk.

2 - postgraduate student, Department of Aircraft Engineering, UlSTU IATU Ulyanovsk.

Abstract. The article discusses mathematical models for the diagnosis of properties, polymer composite materials by radio wave methods.

Keywords: polymer composite materials, dielectric constant, composite heating.

В авиастроении используется большое количество полимерных композиционных материалов (ПКМ), которые используются как конструкционные и радиотехнические. Проблема заключается в том, что у ПКМ встречаются технологические отклонения в виде непрокля и деформации, вызванные технологическими причинами и текучестью готового материала, которые появляются и проявляются в процессе изготовления и в процессе эксплуатации, что приводит к изменению их основных свойств и технических характеристик. Для выявления этих отклонений применяют радиоволновые методы контроля. Их достоинство заключается в том, что можно получить большой интервал мощностей в СВЧ диапазоне, при контроле сред различной прозрачности. Главным преимуществом радиоволновых методов контроля в том, что они неразрушающие, и в большинстве случаев бесконтактные. Стоит отметить, что по сравнению с оптическими методами контроля, радиоволновые методы контроля могут применяться в более агрессивных условиях высоких температур. В радиоволновых методах выделяют следующие методы контроля: амплитудный, фазовый, амплитудно-фазовый, поляризационный, геометрический, временной. При контроле многослойных композитных изделий, изменение толщины слоев, из-за случайных технологических

причин ухудшает достоверность и эффективность радиоволновых методов контроля. Радиоволновые способы контроля обладают малой инерционностью, позволяя контролировать быстропротекающие процессы.

В настоящее время используются ПКМ различных типов от многокомпонентных до многослойных и тканых. Большую популярность получили материалы на основе углеродных волокон. Отличительной особенностью тканей из углеродных волокон - их высокая термостойкость, жесткость и прочность, а так же электропроводность сравнимая с металлами. В процессе изготовления углеродных ПКМ широкое распространение получило многонаправленное армирование, которое позволило устранить частично или полностью анизотропию материала и дает возможность реализовать заданные свойства материала в различных направлениях у готового изделия. Так же применяются ПКМ на основе стекловолокна, имеющих сотовые структуры. Технология изготовления таких структур ПКМ изложена в [1-3]. Из числа ПКМ волоконные материалы обладают самыми высокими прочностными и жесткостными характеристиками, при обычной и повышенной температурах, низким коэффициентом линейного температурного расширения и рядом других свойств. Объемная доля волокон в волокнистых ПКМ составляет 60-80 %. При использовании различных типов ПКМ в авиационных изделиях необходимо проводить входной контроль их на соответствие технических характеристик, заявленных в документации на них.

ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ

Проведя анализ поставленной задачи, установлено:

- ПКМ характеризуются прочностными характеристиками, свойствами их эластичности (в процессе эксплуатации);
- ПКМ характеризуются следующими радиотехническими параметрами: ε - диэлектрическая проницаемость материала, $\operatorname{tg} \delta$ - тангенс угла диэлектрических потерь, δ - проводимость (поверхностная проводимость);
- ПКМ имеют различные температурные характеристики.

Исходя из перечисленного ставится следующая задача: составление математических моделей: электродинамических (для радиоволновых методов) и тепловых моделей для полного охвата характеристик ПКМ; совместное решение электродинамических и тепловых моделей для повышения точности определения характеристик ПКМ и более точного определения места дефекта. При исследовании свойств ПКМ при нестационарном нагреве удобнее рассматривать в виде многослойной модели.

ПУТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Для радиоволновых измерений в свободном пространстве [4,5], используется метод интегральных уравнений (МИУ) [6]. Составленные интегральные уравнения удовлетворяют условию излучения на бесконечность, которое математически записывается как:

$\lim_{r \rightarrow \infty} r \left(\frac{\partial \psi}{\partial r} + jk\psi \right) = 0$, что позволяет производить описание электродинамических процессов в более строгой постановке электродинамики. Процесс составления интегральных уравнений можно посмотреть в [6]. Опустим сложный вывод приведем конечный результат для многослойной модели.

Многослойные модели ПКМ

Математическая модель образца ПКМ представляется виде многослойной структуры состоящей из однородных слоев, количество слоев определяется дискретом разбиения по ε , на отражение уточненная многослойная математическая модель имеет вид рис.1. Интегральные уравнения для многослойной структуры составляется на основе уравнений полученных для каждого слоя (1,2), используя обе его границы.

$$E(p) = \int_L \xi^E(p, q, \varepsilon_a, \mu_a) J^E(q) + \xi^M(p, q, \varepsilon_a, \mu_a) J^M(q) dl \quad (1)$$

$$H(p) = \int_L h^E(p, q, \varepsilon_a, \mu_a) J^E(q) + h^M(p, q, \varepsilon_a, \mu_a) J^M(q) dl \quad (2)$$

Нумерация слоев производится в соответствии с рис.1 и рис.2. Методика составления интегральных уравнений для многослойной структуры следующая. Составление интегральных уравнений для многослойной среды производится как для одного слоя, учитывая распределение токов на границах раздела. Сшивка производится по граничным условиям Щукина-Леонтовича т.к. ПКМ обладает ε , μ - электрической и магнитной проницаемостями и σ - проводимостью. Образец разбит на N – слоев, их границы не имеют общих точек. В каждом слое могут находиться сторонние источники, нумерация слоев производится по направлению от источника наблюдения в глубь образца ПКМ. Составление уравнений производится, для слоев K и K+1 имеющих общую границу Σ_K используя (1), (2) к K-му слою применяют теорему эквивалентности. Нормаль на границах поверхностей раздела слоев направлена в сторону первоисточников.

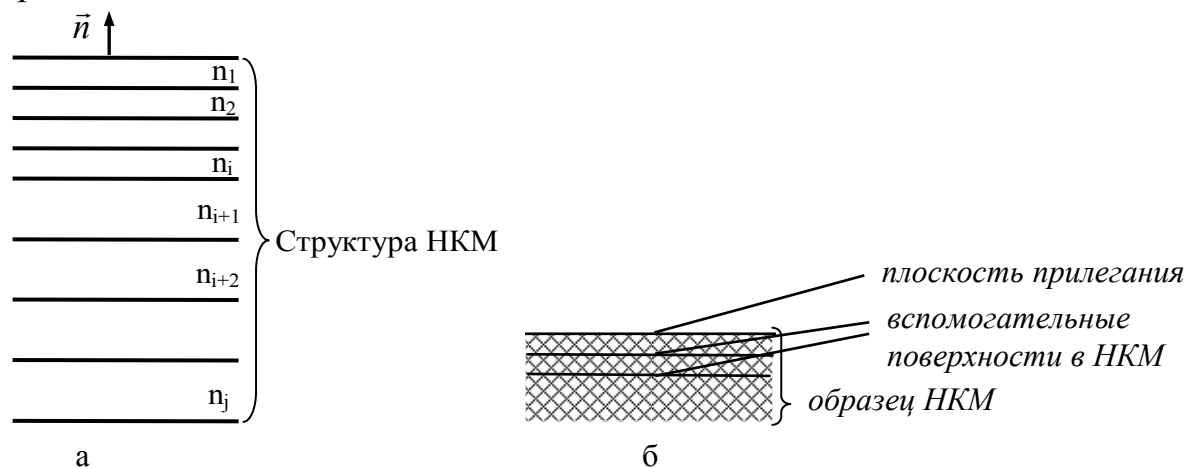


Рис. 1. Многослойные модели ПКМ на отражение: а) – математическая; б) – физическая модель.

Для К слоя уравнения имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} E_K(p) &= \int_{\Sigma_K} [\xi^E J_K^E(q) + \xi^M \tilde{J}_K^M(q)] d\sigma_q + \int_{\Sigma_{K-1}} [\xi^E J_{K-1}^E(q) + \xi^M \tilde{J}_{K-1}^M(q)] d\sigma_q + E_K^{\Pi}(p) \\ p &\in \Sigma_K \\ \frac{1}{2} H_K(p) &= \int_{\Sigma_K} [h^E J_K^E(q) + h^M \tilde{J}_K^M(q)] d\sigma_q + \int_{\Sigma_{K-1}} [h^E J_{K-1}^E(q) + h^M \tilde{J}_{K-1}^M(q)] d\sigma_q + H_K^{\Pi}(p) \\ p &\in \Sigma_K \end{aligned} \quad (3)$$

Интегральные уравнения составлены в матричной форме для слоя К, аналогично записываются для слоя К+1, интегралы берутся по поверхностям Σ_K и Σ_{K+1} как (3).

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} E_{K+1}(p) &= \int_{\Sigma_{K+1}} [\xi^E J_{K+1}^E(q) + \xi^M \tilde{J}_{K+1}^M(q)] d\sigma_q + \int_{\Sigma_K} [\xi^E J_K^E(q) + \xi^M \tilde{J}_K^M(q)] d\sigma_q + E_{K+1}^{\Pi}(p) \\ p &\in \Sigma_{K+1} \\ \frac{1}{2} H_{K+1}(p) &= \int_{\Sigma_{K+1}} [h^E J_{K+1}^E(q) + h^M \tilde{J}_{K+1}^M(q)] d\sigma_q + \int_{\Sigma_K} [h^E J_K^E(q) + h^M \tilde{J}_K^M(q)] d\sigma_q + H_{K+1}^{\Pi}(p) \\ p &\in \Sigma_{K+1} \end{aligned} \quad (4)$$

Для получения возбуждаемых токов на поверхности уравнение (3) домножаются векторно на нормаль и на ε_{K+1} , а (4) – на нормаль и ε_K , затем эти уравнения складываются. Получаются уравнения токов, протекающих на границе раздела слоев.

$$\begin{aligned} \tilde{J}_K^M(p) &= \frac{2\varepsilon_K}{\varepsilon_K + \varepsilon_{K+1}} [n(p), \tilde{E}_K^{CT}(p)] + \frac{2\varepsilon_{K+1}}{\varepsilon_K + \varepsilon_{K+1}} [n(p), \tilde{E}_{K+1}^{CT}(p)] + \\ &+ n(p) \times \int_{\Sigma_K} \{ [\varepsilon_K \xi^E - \varepsilon_{K+1} \xi^E] J_K^E(q) + [\varepsilon_K \xi^M - \varepsilon_{K+1} \xi^M] \tilde{J}_K^M(q) \} d\sigma_q + \\ &+ n(p) \times \int_{\Sigma_{K-1}} \varepsilon_K \xi^E J_{K-1}^E(q) + \varepsilon_K \xi^M \tilde{J}_{K-1}^M(q) d\sigma_q - n(p) \times \int_{\Sigma_{K+1}} \varepsilon_{K+1} \xi^E J_{K+1}^E(q) + \varepsilon_{K+1} \xi^M \tilde{J}_{K+1}^M(q) d\sigma_q \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{J}_K^E(p) &= \frac{2\mu_K}{\mu_K + \mu_{K+1}} [n(p), H_K^{CT}(p)] + \frac{2\mu_{K+1}}{\mu_K + \mu_{K+1}} [n(p), H_{K+1}^{CT}(p)] + \\ &+ n(p) \times \int_{\Sigma_K} \{ [\mu_K h^E - \mu_{K+1} h^E] J_K^E(q) + [\mu_K h^M - \mu_{K+1} h^M] \tilde{J}_K^M(q) \} d\sigma_q + \\ &+ n(p) \times \int_{\Sigma_{K-1}} \mu_K h^E J_{K-1}^E(q) + \mu_K h^M \tilde{J}_{K-1}^M(q) d\sigma_q - n(p) \times \int_{\Sigma_{K+1}} \mu_{K+1} h^E J_{K+1}^E(q) + \mu_{K+1} h^M \tilde{J}_{K+1}^M(q) d\sigma_q \end{aligned}$$

$$p \in \Sigma_K$$

В описании процесса на отражение можно заменить внутреннюю структуру одним слоем, и в описании на прохождение также можно заменить на один слой конечной толщины. Составление ИУ производится для каждого слоя, для границ Σ_I и Σ_{N+1} интегральные уравнения отсутствуют, как и сами границы. На внешних границах образца ПКМ действует граничные условия Щукна-Леонтовича. Внутри ПКМ производится сшивка уравнений.

Аналогично можно составить интегральные уравнения для слоя диэлектрика размещенного на проводящей поверхности:

$$\begin{aligned}
 J_0^E(p) &= 2[n(p), H_K^{CT}(p)] + \\
 &+ 2n(p) \times \int_{\Sigma_0} h^E J_1^E(q) d\sigma_q + 2n(p) \times \int_{\Sigma_1} [h^E J_1^E(q) + h^M \tilde{J}_1^M(q)] d\sigma_q, p \in \Sigma_0 \\
 \tilde{J}_1^M(p) &= \frac{2\varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} [n(p), \tilde{E}_1^{CT}(p)] + \frac{2\varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} [n(p), \tilde{E}_2^{CT}(p)] + \\
 &+ \frac{2n(p)}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \times \int_{\Sigma_1} \{[\varepsilon_2 \xi^E - \varepsilon_1 \xi^E] J_1^E(q) + [\varepsilon_2 \xi^M - \varepsilon_1 \xi^M] \tilde{J}_1^M(q)\} d\sigma_q + \frac{2\varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} n(p) \times \int_{\Sigma_0} \xi^E J_0^E(q) d\sigma_q \\
 p \in \Sigma_1 \\
 \tilde{J}_1^E(p) &= \frac{2\mu_1}{\mu_1 + \mu_2} [n(p), H_1^{CT}(p)] + \frac{2\mu_2}{\mu_1 + \mu_2} [n(p), H_{K+1}^{CT}(p)] + \\
 &+ \frac{2n(p)}{\mu_1 + \mu_2} \times \int_{\Sigma_1} \{[\mu_2 h^E - \mu_1 h^E] J_1^E(q) + [\mu_2 h^M - \mu_1 h^M] \tilde{J}_K^M(q)\} d\sigma_q + \frac{2\mu_1}{\mu_1 + \mu_2} n(p) \times \int_{\Sigma_0} h^E J_0^E(q) d\sigma_q \\
 p \in \Sigma_1
 \end{aligned}$$

МИУ применим к для измеряемых образцов ПКМ с гладкой рабочей поверхностью (по отношению к размеру зондирующей волны), с математической точки зрения точен.

Использование многослойной модели дает возможность рассматривать в ПКМ такие процессы как нагрев.

Исследуемый ПКМ подвергается одностороннему нестационарному нагреву, вследствие которого образуется неравномерное распределение температуры нагрева диагностируемого образца по толщине. Для упрощения описательного процесса рассмотрим один слой, который будет являться базовым элементом для многослойной модели. Слои между собой будут сшиваться через граничные условия температур на их поверхности. Границы раздела слоев могут быть реальными или условными.

Температура в каждой точке (x, y, z) образца ПКМ в момент времени t описывается функцией $T(x, y, z)$. В начальный момент времени $(t = 0)$ все части тела имеют одинаковую температуру (температуру тела в нормальных условиях). Составим теплофизическое уравнение для образца ПКМ, считая, что образец-тело однородное по толщине и не имеет на поверхности изломов, трещин, ребер и т.д. В случае наличие различных неоднородностей температурный рельеф будет отличен в местах неоднородностей, что вызовет перепада градиента температур. Считать, что тело однородное и параметры γ , ρ и $k = const$

$$\frac{dT}{dt} = a^2 \left(\frac{d^2 T}{dx^2} + \frac{d^2 T}{dy^2} + \frac{d^2 T}{dz^2} \right) + f(x, y, z, t) \quad (5)$$

$$\text{где } a = \sqrt{\frac{k}{\gamma\rho}}; \quad f(x, y, z, t) = \frac{F(x, y, z, t)}{\gamma\rho}.$$

По теории теплопроводности для нахождения температуры внутри тела в любой момент времени необходимо знать начальное условие и граничное условие (тепловой режим на границе тела).

Граничные условия на поверхности тела обычно задается тепловым потоком q : $q = -k \frac{dT}{dn}$, или в каждой точке на поверхности тела задается температура $T|_S = f(S, t)$ - известная функция точки на поверхности и времени. Начальные условия это распределение температуры по толщине тела $T|_{t=0} = \varphi(x, y, z)$.

Нагрев производится СВЧ энергией, для связывания в единую систему электродинамические модели ПКМ и тепловую модель; тепловой поток производящий нагрев распространяется вдоль одной координаты (координаты z см. рис. 1), перпендикулярной поверхности тела, в глубь тела. Будем считать, что распространения тепла по двум другим координатам не происходит и температура нагрева тела имеет распределение только по координате z . Будем считать:

- излучение монохроматическое (источник нагрева –электромагнитная волна);
- состояние тела равновесное, перенос тепла осуществляется за счет теплопроводности;
- теплоотдачей всех видов пренебрегаем, в силу быстротечности процесса нагрева;
- для исследуемого материала берется модель неограниченной пластины (ПКМ у которого нагрев производится с одной стороны)[7,8].

Решение уравнения теплопроводности будем производить в духе электродинамики. Нагревательная энергия которая поглощается образцом ПКМ будет равна:

$$P_{\text{пол}} = \frac{E_0^2}{2|Z_c|} e^{-2\alpha z} \quad (6)$$

где E_0 - напряженность электрического поля, производящего нагрев импедансного тела;

Z_c - импеданс исследуемого тела, определяемый как

$$Z_c = \frac{W_0}{\sqrt{\dot{\epsilon}}} = \frac{\sqrt{\mu_0/\epsilon_0}}{\sqrt{\epsilon(1-jtg\delta)}} = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon(1-jtg\delta)}},$$

α - коэффициент затухания электромагнитной волны в импедансном теле

$$\alpha = 2\pi f \sqrt{\frac{\epsilon_a \mu_a}{2} \left(\sqrt{1 + tg^2 \delta} - 1 \right)}, \text{ где } \mu_a = \mu_0, \quad \epsilon_a = \epsilon \epsilon_0.$$

Теперь составим одномерное уравнение теплопроводности для ПКМ образца, считая, что температура нагрева (избыточная температура) распространяется только вдоль одной координаты (координаты Z).

$$\frac{dT}{dt} = \alpha^2 \frac{dT}{dz} + \frac{1}{c\gamma} \frac{E_0^2}{2|Z_c|} e^{-2\alpha z}$$

T - избыточная температура, $T = T_{нагр} - T_0$;

a^2 - коэффициент температуропроводности, $a^2 = \frac{\aleph}{c\gamma}$;

$\aleph$ - коэффициент теплопроводности;

c - теплоемкость;

γ - плотность вещества;

t - Время облучения (нагрева) материала;

Z - координата распространения электромагнитной волны, $0 \leq z \leq d$;

d - толщина ПКМ образца.

Это типичное уравнение теплопроводности, в котором первый член в правой части отвечает за количество тепла прошедшее путем теплопередачи через границу перпендикулярную плоскости ХУ. Второй член правой части отвечает за количество тепла поглощенное материалом за время облучения.

Для конкретного решения уравнения теплопроводности необходимо уточнить начальные и граничные условия.

Начальное условие: задается начальная температура по всей поверхности материала, в данном случае

$$T_{нагр}(z,0) = \varphi_0(z) = T_0 \quad \text{или} \quad T(z,0) = \psi_0(z) = 0 \quad (7)$$

Решением уравнения (7) находится через фундаментальную функцию:

$$T(z,t) = T_0 + T_{нагр}, \quad \text{где}$$

$$T_0 = \frac{1}{2a\sqrt{\pi t}} \int_0^d \varphi(z) e^{-\frac{(z-\xi)^2}{4a^2 t}} d\xi,$$

$$T_{нагр} = \int_0^t \int_0^d \frac{E_0^2}{2|Z_c|\aleph} \frac{1}{2a\sqrt{\pi(t-\tau)}} e^{-\frac{(z-\xi)^2}{4a^2(t-\tau)}} e^{-2\alpha(z-\xi)} d\xi d\tau.$$

Распределение избыточной или нагреваемой температуры по толщине имеет численное решение:

$$T_{нагр} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{2\alpha} \frac{E_0^2}{2|Z_c|\aleph} e^{-\frac{(z-\xi)^2}{4a^2(t-\tau)}} e^{-2\alpha(z-\xi)} \bigg|_0^d \bigg|_0^t.$$

Выражение качественно показывает дискретный прирост температуры нагрева по толщине тела и по времени нагрева. Задавшись дискретами по толщине и по времени мы получаем временное распределение приращенной температуры по толщине образца ПКМ. Точность вычисления температурного распределения будет зависеть от точности выбранного численного метода, и от шага дискретов по толщине и времени.

Полученные результаты справедливы для поглощающих материалов, для полупрозрачных материалов математическая модель будет представлена как поглощающей, рассеивающей и испускающей. По этому в математической модели для полупрозрачных материалов необходимо рассматривать процессы рассеивания, испускания и переноса энергии [9].

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Решение интегральных уравнений производится численными методами. Наиболее распространенным для интегральных уравнений является проекционный численный метод (метод Галеркина) [6], или методом пробной функции [10]. При решении интегральных уравнений шаг численной сетки берется равным $\frac{1}{10}\lambda$, в этом случае неопределенность ошибки вычисления составляет 4-5 %. Количество базисных функций для разложения тока в методе Галеркина определяется количеством членов в ряде Фурье дающих устойчивое решение.

Расчетный алгоритм температурных зависимостей ε и $\operatorname{tg}\delta$ ПКМ

При одностороннем нагреве диэлектрического материала происходит распределение температуры по толщине исследуемого материала [11]. Из-за повышения температуры тела происходит изменение ε и $\operatorname{tg}\delta$. Поэтому при измерении температурных зависимостей ε и $\operatorname{tg}\delta$ необходимо учитывать их изменение. Изменение электродинамических параметров импедансного тела ε и $\operatorname{tg}\delta$ от первоначальных (в нормальных условиях) будет представлено как:

- относительную диэлектрическую проницаемость в виде линейной аппроксимации от температуры нагрева: $\varepsilon(T) = \varepsilon_0 + \alpha T$;

- тангенс угла диэлектрических потерь в виде параболической аппроксимации: $\operatorname{tg}\delta(T) = \operatorname{tg}\delta_0 + \beta T^2$

где ε_0 и $\operatorname{tg}\delta_0$ параметры ПКМ в нормальных условиях.

При вычислении: во-первых производится измерение комплексной диэлектрической проницаемости образца ПКМ и его температуры в обычных условия. Следующим шагом производится задание параметров нагревательного излучения или элемента в времени воздействия, аппаратура нагрева. В процессе нагрева образца ПКМ, через заданные временные интервалам производятся измерения температуры нагрева образца ПКМ (поверхности и внутри тела на заданных глубинах), и комплексных коэффициентов отражения и прохождения измерительного излучения. Контрольные измерения температуры позволяют производить корректировку точности вычисления распределения температуры по толщине исследуемого тела. Для чистоты диагностики измерение температуры проводится бесконтактным методом (пирометром)

Для теоретического исследования температурных зависимостей ε и $\operatorname{tg}\delta$ необходимо решить систему уравнений состоящую из уравнений электродинамики и уравнений теплофизики. Решение уравнения теплофизики дает распределение температуры нагрева образца ПКМ по толщине при заданных параметрах нагревательного излучения и длительности воздействия на тело, тем самым производя моделирование теплового режима. Решение уравнений электродинамики позволяет

определить комплексную диэлектрическую проницаемость в условиях нагрева по комплексным коэффициентам отражения или прохождения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

После этого производят измерения комплексных коэффициентов отражения от эталонного короткозамыкателя и измеряемого образца, с последующей обработкой результатов измерений по вычислению значений ε .

По приведенной теории был произведен контроль и определено значение относительной диэлектрической проницаемости образца ПКМ, материала У-ПУ $\varepsilon=950\pm30\%$ и тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta=1,3\pm40\%$, имеющих модуль коэффициента отражения 0,94 [12].

В результате проведенного рассмотрения процесса диагностики ε ПКМ МИУ, производит усложнение способа обработки результатов контроля, выигрыш за счет усложнения математического аппарата в случае с ПКМ. Усложнение открывает более широкие возможности по автоматизации и обработке результатов измерений, используя высокопроизводительную компьютерную технику.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ульяновской области в рамках научного проекта № 18-48-732005\18

Библиографический список

1. Шулайкин А.Ю., Попов М.А., Ковалев В.А., Иванов А.В., Артамонов Ю.С., Шурыгин А.Е. Современные методы диагностики объектов из композиционных материалов // Современная техника и технологии. 2016. № 4 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2016/04/9920>
2. Пригода Б.А., Кокунько В.С. Обтекатели летательных аппаратов. -М.: Машиностроение. 1978 -120 с.
3. Гуртовик, И.Г. Стеклопластики радиотехнического назначения. / И.Г. Гурто-вик, В.Н. Спортсмен. – М.: Изд-во Химия, 1987. – 158 с.
4. Углеродные волокна и углекомпози́ты.//Под ред. А.А. Берлина. -М.: Мир. 1988. - 270 с.
5. Углеродные волокна и углекомпози́ты. /Под ред. Э. Фатцер. -М.: Мир. 1988, 336 с.
6. Васильев, Е.Н. Возбуждение тел вращения./ Е.Н. Васильев– М.: Изд-во Радио и связь, 1988. – 271 с.
7. Григорьев Б.А. Импульсный нагрев излучениями. - М., «Наука», 1974 - 1040 с.
8. Григорьев Б.А., Нужный В.А., Шибанов Б.В. Таблицы для расчета нестационарных тел при нагреве излучениями. - М., «Наука», 1971, 708 с.
9. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. -Л.: “Энергия”, 1974, 264 с.
10. Кислюк, М.Ж. Метод вторичных волн в задачах электродинамики./

М.Ж. Кислюк. – Л.: 1970. – 151 с.

11. Дмитриенко Г.В., Згуральская Е.Н., Ривин Г.Л., Федоров А.А. Разработка тепловой математической модели для диагностики полимерных композиционных материалов применяемых в авиастроении в условиях нестационарных температур// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т.21, №4, 2019. С. 36-39

12. Дмитриенко, Г.В., Анисимов, В.Г. Измерение диэлектрической проницаемости низкоимпедансных композиционных материалов на СВЧ / Г.В. Дмитриенко, В.Г. Анисимов //Измерительная техника – 2009. – № 2. – С.44-48

УДК 621.076

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТУРНОЙ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ХОЛОДНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА**Кокорин В.Н.¹, Илюшкин М.В.², Подмарев Д.Р.³, Храмов М.А.⁴,
Мишов Н.В.⁵, Шиллер Н.П.⁶***1 – заведующий кафедрой «Материаловедение и ОМД», д.т.н., профессор, УлГТУ, г. Ульяновск**2 – заместитель генерального директора ОА «Ульяновский НИАТ», к.т.н.**3 – аспирант каф. «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск**4 – магистрант УлГТУ, г. Ульяновск**5 – бакалавр УлГТУ, г. Ульяновск**6 – бакалавр УлГТУ, г. Ульяновск*

Аннотация. Рассмотрены вопросы моделирования процессов прокатки при возникновении деформационного упрочнения листового металлопроката. Установлены основные характеристики напряженно-деформированного состояния металла, определяющие как особенности процесса формообразования, так и энергосиловые характеристики.

Ключевые слова: деформационное упрочнение, инструмент, валки, моделирование, напряжение.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF CONTOUR LASER CUTTING IN THE IMPLEMENTATION OF PRELIMINARY COLD DEFORMATION OF SHEET METAL**Kokorin V.N.¹, Ilyushkin M.V.², Podmarev D.R.³, Khramov M.A.⁴,
Mishov N.V.⁵, Schiller N.P.⁶***1 - Head of the Department of "Materials Science and OMD", D.t.s, Professor, UlSTU, Ulyanovsk**2 - deputy General Director of OA "Ulyanovsk NIAT", Ph.D.**3 - postgraduate student "Materials Science and OMD" UlSTU, Ulyanovsk**4 - Master UlSTU, Ulyanovsk**5 - Bachelor UlSTU, Ulyanovsk**6 - Bachelor UlSTU, Ulyanovsk*

Abstract. The problems of modeling rolling processes in the event of strain hardening of sheet metal are considered. The main characteristics of the stress-strain state of the metal are determined, which determine both the features of the process of forming and energy-power characteristics.

Key words: strain hardening, tool, rolls, modeling, stress.

При изучении процессов механической активации металлов и сплавов сотрудниками Ульяновского государственного технического университета была представлена реализация новой технологии контурной лазерной резки листового металлопроката с предварительной его активацией, заключающейся в холодном деформационном упрочнении обрабатываемого металла.

Были установлены как технологические характеристики обработки, так и те мероприятия, способствующие повышению эффективности данной технологии, в частности, использование клиновидных ребер на деформирующих валках, обеспечивающих локализацию деформационного упрочнения и, как следствие, снижение теплопроводности, что обеспечивает повышение размерной точности изделий, снижение коробления и грата [1].

Однако, до настоящего времени отсутствует анализ деформационных характеристик локальных участков, где осуществляется силовое воздействие на металлопрокат, не изучено влияние формы и типоразмеров клиновидного ребра на уровень интенсификации процесса упрочнения, как фактора, снижающего величину теплопроводности металла, и соответственно, повышающего качество поверхности разделения при снижении энергоемкости процесса лазерной контурной резки.

В рамках анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) в процессе деформационного упрочнения металла предложено рассматривать упрочнение исходного листового металлопроката (поз.2) прокаткой между двумя валками (поз. 1) одинаковых диаметров, вращающихся в противоположных направлениях (рис 1).

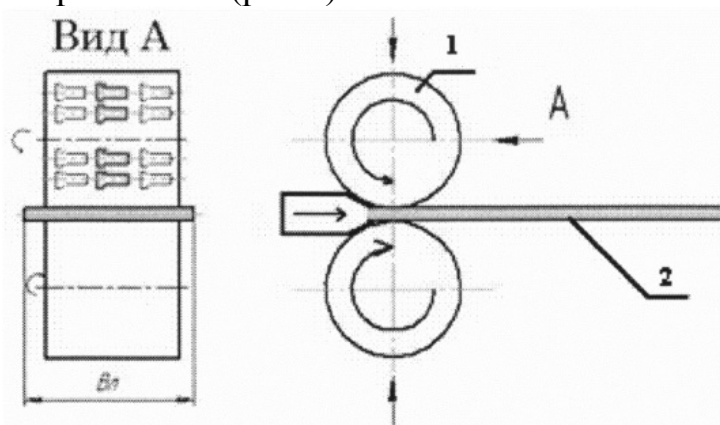


Рис. 1. Принципиальная схема прокатки листового металла

Валки снабжены клиновидными ребрами, траектория которых когерентна контуру вырезаемой детали, что обеспечивает локальное упрочнение узкой зоны обрабатываемого металла в зоне разделения при реализации схемы неравномерного всестороннего сжатия, что позволяет сохранить высокий уровень пластичности металла всей площади вырезаемой детали.

Произведен расчет НДС в очаге деформации при различных степенях осевого нагружения при использовании клиновидных ребер прямоугольной и конической формы.

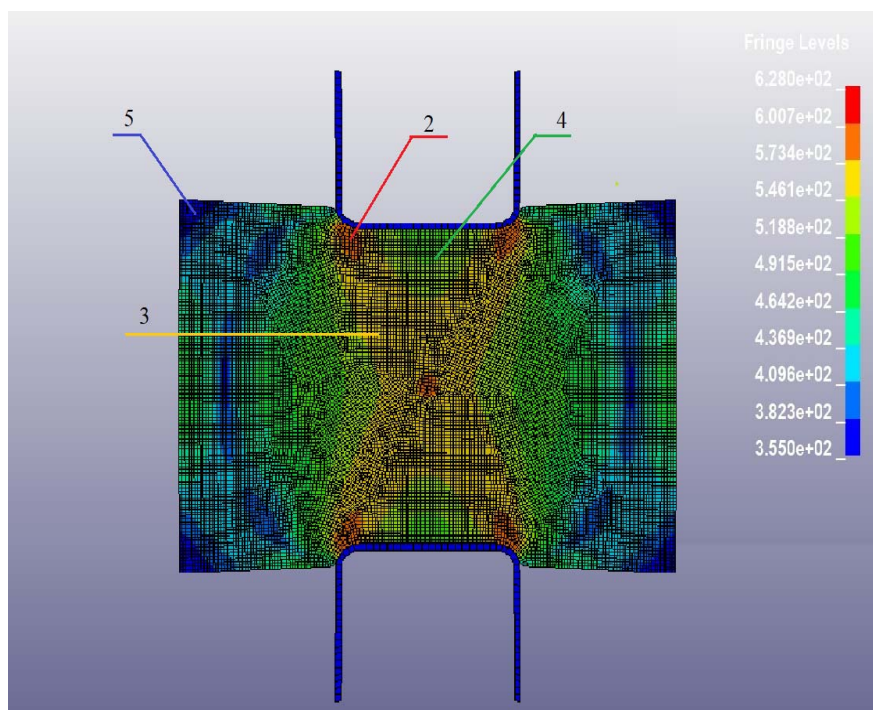
Подготовка математической модели, а именно нанесение сетки на материал (инструмент, заготовка) и ввод исходных данных осуществлялась в свободном препроцессоре LS-Pre/Post [2]. Задача решалась в плоскостной постановке с моделированием поперечного сечения деформируемого металла. Исходная толщина материала заготовки $S_0=3\text{мм}$, материал заготовки

углеродистая сталь 45, модель материала заготовки 001_ELASTIC (материал 1 типа – это упругий изотропный материал, который используется для балочных, оболочечных и объемных элементов программы LS-DYNA) . Материал инструмента валков - легированная нержавеющая сталь 12X18H10T, модель материала инструмента 024_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY (Материал типа 24, с помощью этой модели можно задать упругопластический материал с произвольной зависимостью между напряжением и деформацией, а так же произвольной зависимостью от скорости деформации). Деформация проводится в холодном состоянии в степенях деформации 25% и 50% по толщине заготовки.

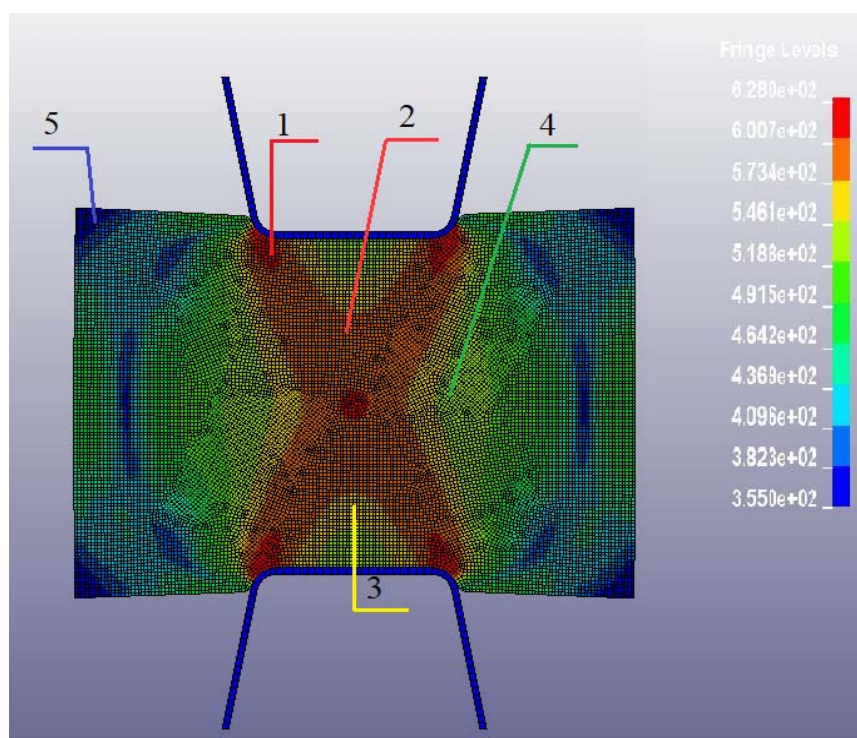
Перемещение инструмента задавалось узловым набором с помощью карты PRESCRIBED_MOTION_SET. Заготовка разбивалась на 31250 4-х узловых трехмерных оболочечных элемента типа Shell 163 с определением мембранных свойств. Тип контакта – 2D_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE.

При моделировании НДС использовалась программа LS-DYNA с использованием нелинейного переходного динамического конечно-элементного кода с явным и неявным решателем.

На рисунках 2,3 представлен анализ напряженно деформированного состояния при локализованном напряжении с различными степенями деформации.



a)

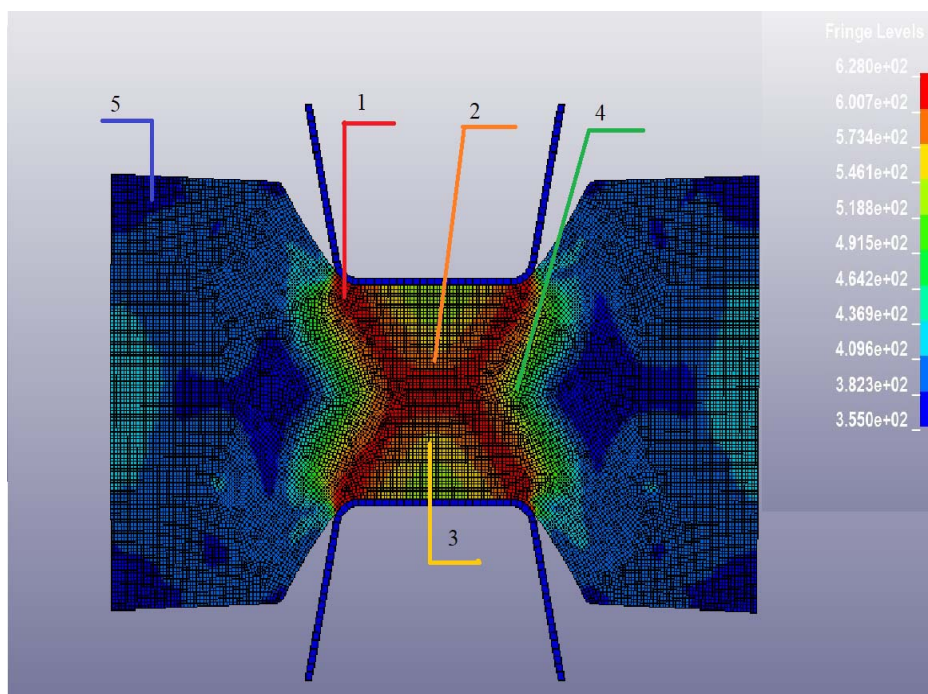


б)

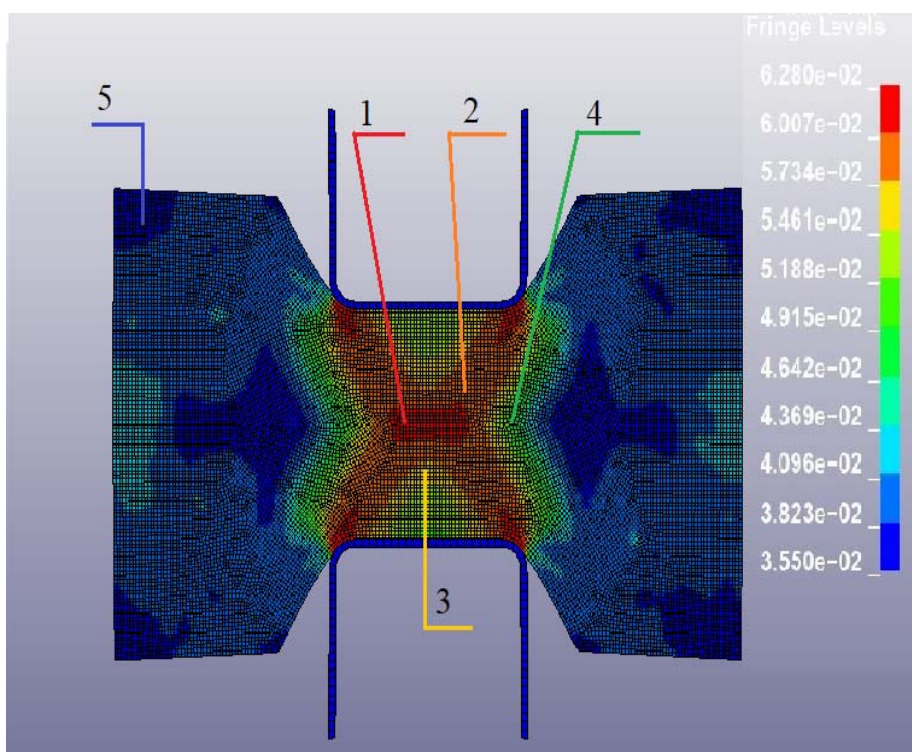
Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние материала заготовки при локализованном нагружении, степень деформации 25%:

а) вдавливание прямоугольного клиновидного ребра;

б) вдавливание конического клиновидного ребра



а)



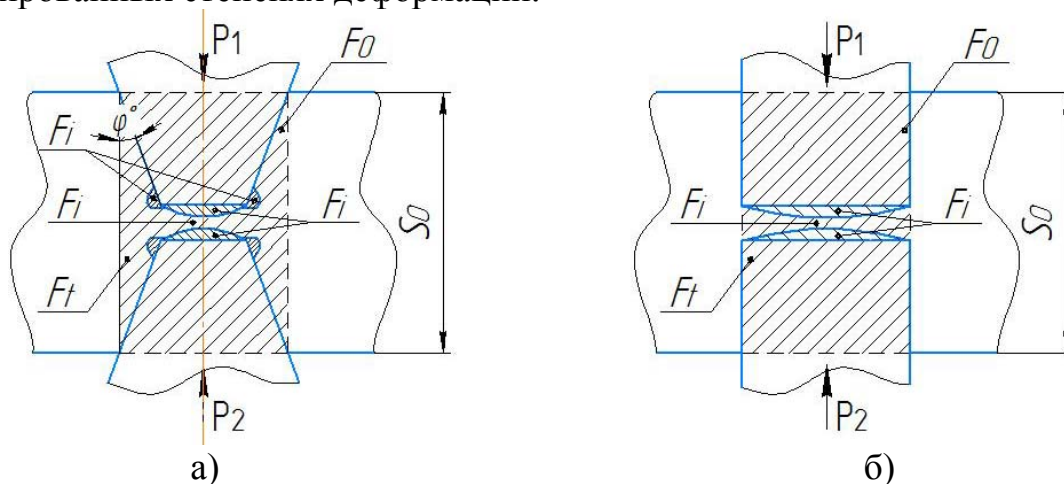
б)

Рис. 3. Напряженно–деформированное состояние материала заготовки при локализованном нагружении, степень деформации 50%:

а) вдавливание прямоугольного клиновидного ребра;

б) вдавливание конического клиновидного ребра

Для оценки эффективности формы деформирующего инструмента (конической и цилиндрической) было предложено использовать условный коэффициент силового воздействия ($K_{\text{усл}} = F_i / F_0$), определяемый как отношение площадей равного уровня напряжений (F_i) к площади (F_0), замыкающей границы деформационного воздействия (рис. 4) при фиксированных степенях деформации.



а)

б)

Рис. 4. К определению условного коэффициента силового воздействия при локализованном нагружении:

а) клиновидные ребра конической формы ($\varphi > 0$)

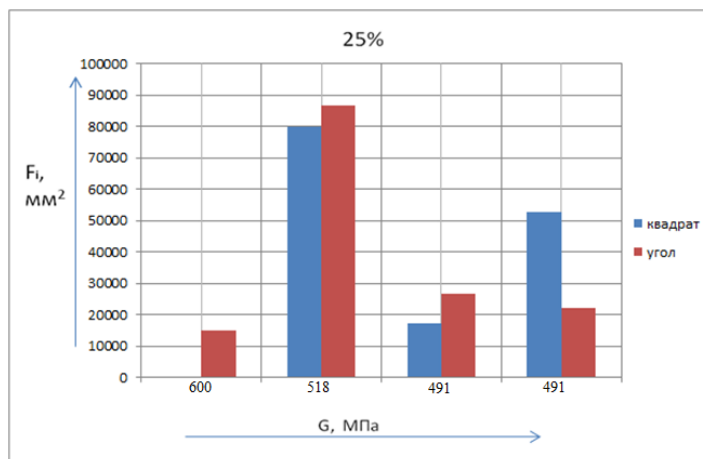
б) прямоугольные ребра ($\varphi = 0$)

Произведен расчет площадей напряжений равного уровня и площадей, замыкающих границ деформационного воздействия также, условных коэффициентов силового воздействия соответственно при степенях деформации 25% и 50% (таблица 1).

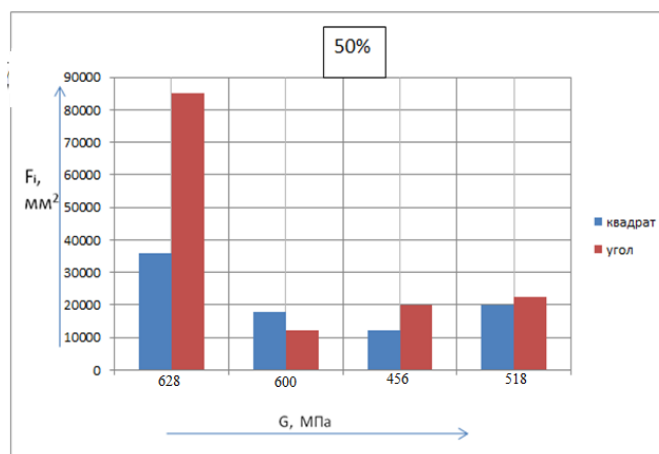
Таблица 1. Условный коэффициент силового воздействия, учитывающий площади равного уровня напряжений

№	σ_i , МПа	ϵ , %	F, мм ²	F, мм ²	K _{ус} , %	K _{ус} , %
1	600	25%	0	15000	0	10
2	546		80000	86500	11,4	57,6
3	518		17100	26600	53,7	17,7
4	491		52800	22000	35,2	14,6
5	355	Исходная структура				
1	628	50%	36000	85000	13,6	41,3
2	600		18000	12000	32	20,9
3	546		12000	20000	19,2	14,8
4	518		20000	22400	35,2	23
5	355	Исходная структура				

На рисунке 5 представлена сопоставительная оценка площадей равного уровня напряжений при использовании прямоугольных и конических клиновидных ребер.



а)



б)

Рис. 5. Сопоставительная оценка площадей равного уровня напряжений при использовании прямоугольных (а) и конических (б) клиновидных ребер

Анализ представленных номограмм позволил установить интегральную площадь зон максимального упрочнения: при степени деформации 25% зона напряжений уровня 600 МПа (точка 1) составляет 0 % (прямоугольный клин) и 10% (конический клин); зона напряжений (точки 1 и 2) до 546 МПа соответственно 11,4% и 67,6%.

При степени деформации 50% зона напряжений уровня 628 МПа (точка 1) составляет 13,6 % (прямоугольный клин) и 41,3% (конический клин); зона напряжений до 600 МПа (точки 1 и 2) соответственно 45,6% и 62,2 %; зона напряжений до 546 МПа (точки 1-3) соответственно 64,8% и 77 %.

Таким образом, установлено влияния формы клиновидного ребра на величину площади максимального упрочнения металла заготовки.

Анализ полученных результатов позволил выявить в очаге деформации 5 характерных зон, напряжения в которых отличаются не менее чем на 25 МПа. При этом применение клиновидной формы деформирующего инструмента позволит повысить уровень локализации участка силового воздействия на 20% (25% деформации); 40% (50% деформации).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В.Н.Кокорин, М.В.Илюшкин, Д.Р.Подмарев, Н.В.Мишов, Н.П.Шиллер, Л.Р.Курамшина Моделирование процесса деформационного упрочнения листового металлопроката Научные труды VI Международной научной конференции “Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении”. – М.: ИМАШРАН. – 2019. – С. 213-214
2. Илюшкин М.В. Моделирование процессов обработки металлов давлением: учебно-методическое пособие / М.В. Илюшкин. – Ульяновск: УлГУ, 2013. – 112 с.

УДК 621.981

**ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ФОРМАЛИЗАЦИИ АНАЛИЗА
ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГНУТОГО ПРОФИЛЯ****Марковцев В.А.¹, Гульшин В.А.², Филимонов А.В.³, Филимонов В.И.⁴***1 – д.т.н., генеральный директор АО «Ульяновский НИАТ», зав. каф. «Технологии ЗШП» УлГТУ, г. Ульяновск**2 – к.т.н., нач. Центра подготовки специалистов АО «Ульяновский механический завод», г. Ульяновск**3 – к.т.н., гл. инженер ООО «Новые промышленные технологии», г. Нижний Новгород**4 – д.т.н., профессор, ВНС АО «Ульяновский НИАТ», г. Ульяновск*

Аннотация. Рассмотрен один из подходов к формализации анализа технологичности по 16 критериям и повышения конструктивной технологичности за счёт преобразования конфигурации профиля с целью упрощения технологии и снижения издержек технологической подготовки производства и изготовления гнутых профилей.

Ключевые слова: профилирование, технологичность, отбортовка, упругая отдача, радиус изгиба, элемент двойной толщины

**ON A WAY TO FORMALIZE THE MANUFACTURABILITY ANALYSIS
IN ROLLFORMING****Markovtsev V.A.¹, Gulshin V.A.², Filimonov A.V.³, Filimonov V.I.⁴***1 – director general of «Ulyanovsky NIAT», JSC, d.t.s.;**2 – head of Training Center in «Ulyanovsk Mechanical Plant», JSC, c.t.s.;**3 – chief engineer of «New Industrial Technologies», Ltd. (city of Nizhny Novgorod), c.t.s.;**4 – leading researcher of «Ulyanovsky NIAT», JSC, d.t.s.*

Abstract. There is considered a way to formalize the manufacturability analysis on the basis of 16 criteria to improve the design manufacturability through profile configuration alteration. This approach allows to simplify the technology and to cut down costs on the preproduction stage and manufacturing stage in roll-forming.

Keywords: roll-forming, manufacturability, flange, springback, bending radius, double thickness element

Одним из важнейших вопросов в технологии производства гнутых многоэлементных профилей является вопрос о технологичности их изготовления в условиях данного промышленного предприятия, причём, определяющими факторами при этом являются освоенный метод производства указанных профилей и имеющееся для этого оборудование [1]. Актуальность вопроса оценки технологичности ещё более подчёркивается расширением сортамента и необходимостью освоения новых типоразмеров гнутых тонкостенных профилей, которые всё чаще находят применение в новых изделиях различных отраслей.

В отечественной литературе вопросам технологичности изготовления профилей в роликах уделяется весьма незначительное внимание в связи с малочисленностью фирм-разработчиков оборудования и технологии

профилирования в России. Однако данный вопрос является важным как для предприятий, разрабатывающих новые конструкции гнутых профилей, так и для предприятий-разработчиков технологии и эксплуатирующих организаций. Так, в авиастроении анализ профиля на технологичность является обязательным перед освоением новых изделий, включающих гнутые профили [2].

Общие правила обеспечения технологичности конструкций изделий приведены в работах [3 – 5], где рассмотрен более широкий спектр вопросов, чем технологичность изготовления профиля. Эти вопросы относятся не только к сфере производства, но учитывают также проблемы экологичности и безопасности, транспортировки, обслуживания в процессе эксплуатации и утилизации (рис. 1). Здесь не учтена такая составляющая как диагностика и ремонтпригодность, поскольку восстановление и замена гнутых профилей в конструкциях почти не практикуются. Впрочем, диагностика могла бы рассматриваться применительно к несущим или ответственным элементам конструкции из профилей (например, в строительстве и авиастроении). Некоторые виды материалов для изготовления профилей могут содержать вредные добавки (например, бериллий в материалах семейства АБМ в авиастроении), что связано с безопасностью, экологичностью и утилизацией.

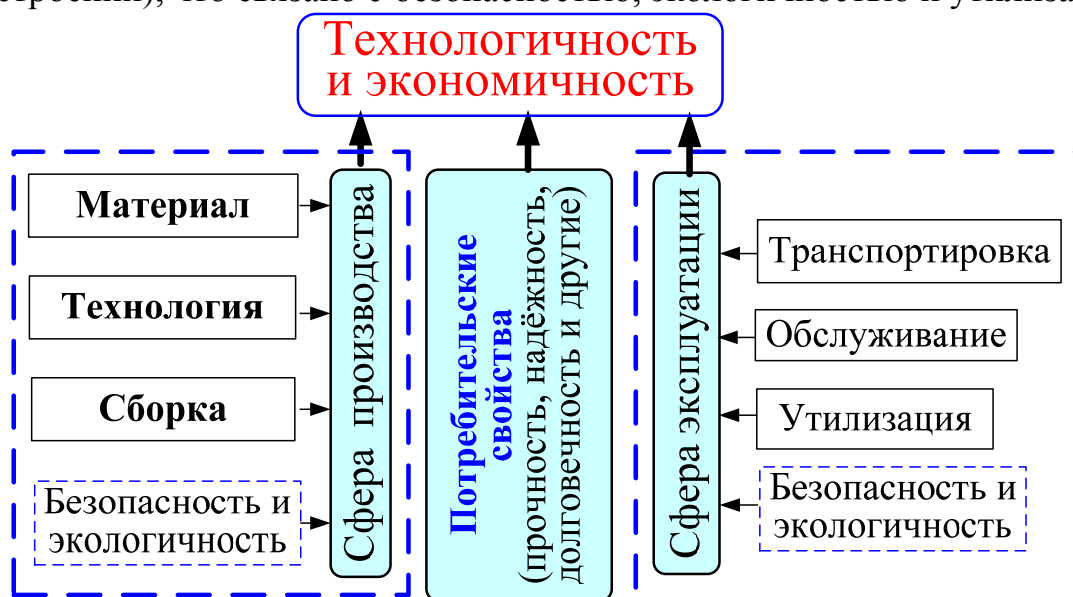


Рис. 1. Составляющие технологичности гнутого профиля

В работе [6] показаны пути улучшения технологичности гнутых профилей на стадии разработки их конструкции с учётом выработанных 16 критериев технологичности, относящихся именно к конструкции профиля. Другие 18 критериев (из 34) относятся к разработке технологии. Показанные на рис. 2 критерии технологичности призваны предотвратить дефекты изготовления или устранить сложности при разработке технологии по методу интенсивного деформирования [1] и стеснённого изгиба [2]. На том же рис. 2 серым цветом показана исходная конфигурация профиля, а черным цветом – возможные преобразования конфигурации с целью повышения

технологичности. Здесь речь идёт о конструктивной технологичности, т.е. об улучшении конструкции профиля при сохранении его функциональности (соотнесённость с присоединительными размерами и элементами, несущей способностью, долговечностью и прочее). Например, преобразование периферийных элементов (для повышения жёсткости подгибаемых полок или снижения пружинения) может затрагивать вопросы сборки, что вызывает необходимость пересмотра всей глобальной конструкции из гнутых профилей. Ясно, что указанное техническое решение подлежит согласованию с конструктором или производителем глобальной конструкции, а если согласование оказывается невозможным, то вопросы устойчивости подгибаемых полок или снижения пружинения решаются только с помощью технологических мер, что может существенно усложнять технологию и повышать издержки технологической подготовки производства и изготовления профилей. С другой стороны, уменьшение радиуса изгиба для снижения пружинения может и не входить в противоречие с условиями сборки. Однако, для некоторых авиационных профилей оно может приводить к повышенной разнородности и попаданию участков деформирования в критические зоны (с ростом зерна вследствие термообработки). Это может приводить к снижению ресурса планера летательного аппарата, в котором такие профили применяются. Данные примеры показывают, что принятие технических решений по результатам анализа технологичности должно осуществляться с должной осторожностью.

Указанные критерии представлены на качественном уровне, однако, в связи с применением вычислительной техники при проектировании конструкций и разработке технологии, возникает необходимость в формализации самих критериев и в их последующем применении на практике. В первом приближении, формализация критериев может быть представлена табл. 1 с соответствующими зависимостями и комментариями.

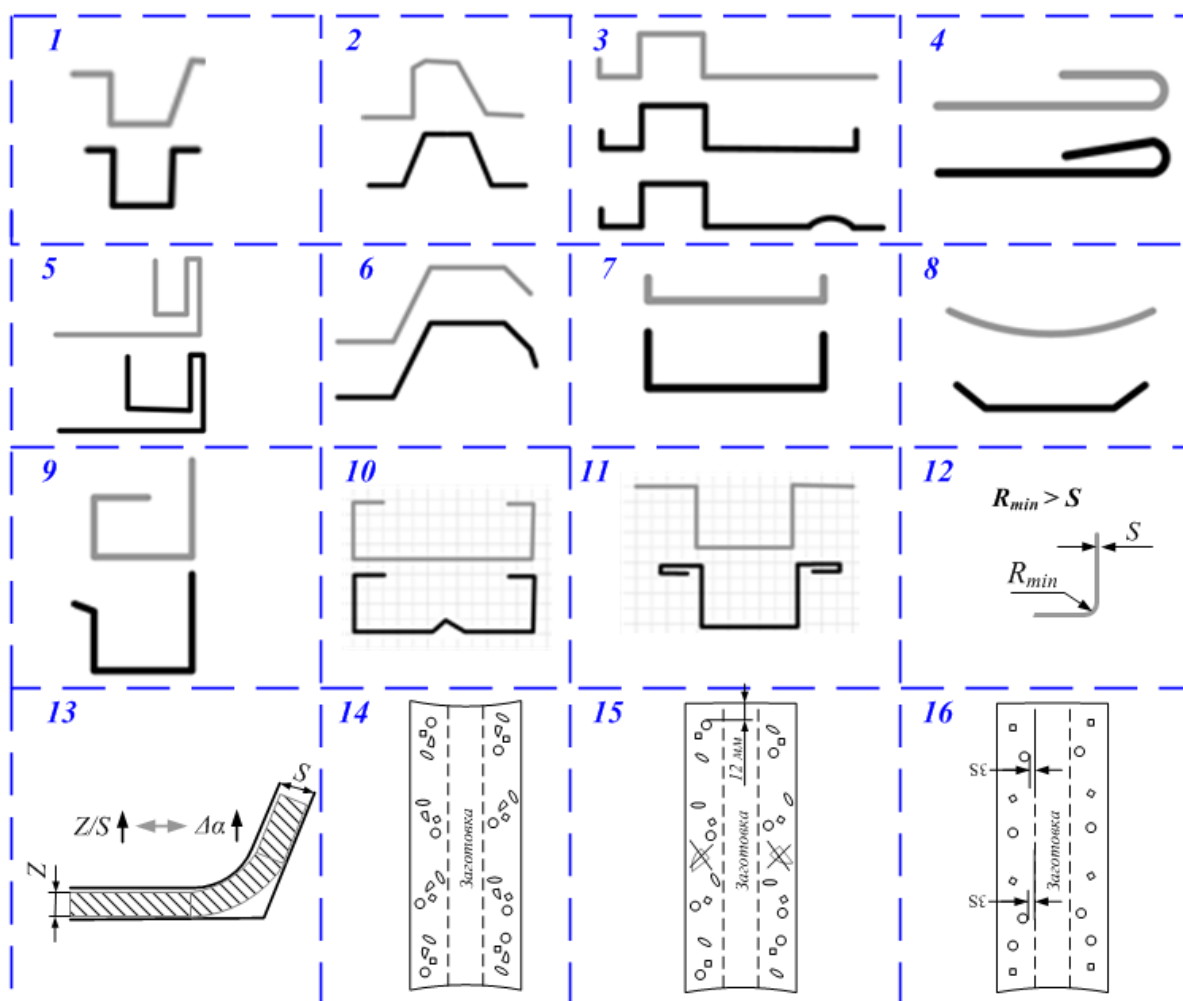


Рис. 2. Иллюстрация критериев технологичности профиля при конструировании или анализе конструкции перед освоением профиля: 1 – симметричность; 2 – наклон стенок; 3 – уравнивание сечения; 4 – форма элемента двойной толщины (ЭДТ); 5 – устранение узких элементов; 6 – оптимизация формы отбортовки; 7 – предельные размеры отбортовок; 8 – устранение участков с малой кривизной; 9 – устранение «слепых зон формовки»; 10 – предотвращение волнистости дна; 11 – предотвращение кромочной волнистости; 12 – минимальный радиус изгиба; 13 – снижение уровня упругой отдачи; 14 – произвольное расположение неослабляющей перфорации; 15 – предотвращение излома и концевой эффекта; 16 – предотвращение деформации контуров отверстий

Таблица 1. Формальное описание критериев

Критерий технологичности	Формальное описание	Примечание
1. Симметричность	а) $b_L = b_R$; $\alpha_L = \alpha_R$ (равенство элементов и углов между ними для левой и правой частей профиля относительно срединной точки дна)	Предотвращение скрутки профиля при формовке. Критерий б) является более слабым, чем

Критерий технологичности	Формальное описание	Примечание
	b) $I_p^L \approx I_p^R$ (равенство полярных моментов левой и правой частей профиля относительно срединной точки дна)	критерий а), однако даёт некоторую свободу в трансформации конструкции
2. Наклон стенок	а) $\alpha_{lat}^L, \alpha_{lat}^R \rightarrow 75^\circ$ (углы наклона левой и правой боковых стенок не следует брать 90°); б) $\alpha_{lat}^L, \alpha_{lat}^R \rightarrow (90 - \gamma)^\circ$ (углы наклона боковых стенок должны отличаться от прямого угла хотя бы на $\gamma = 0,5^\circ$)	Наличие вертикальной боковой стенки повышает число переходов и сопровождается её потёртостями. Критерий б) применять только в обоснованных случаях
3. Уравновешивание сечения	а) $W_y^L \approx W_y^R$ (равенство моментов сопротивления левой и правой части от середины заготовки); б) $I_p^L \approx I_p^R$ (равенство полярных моментов левой и правой частей профиля относительно середины заготовки)	Предотвращение кромковой волнистости и скрутки. Расположение оси x – вдоль базового элемента, центр системы координат – на оси профилирования. Критерий а) предпочтительнее.
4. Форма ЭДТ	$\beta = (15 \dots 30)^\circ$ (угол наклона свободной кромки к несущей полке); $\rho_t = (1 \dots 3)S$ (радиус сопряжения кромки и полки в зависимости от толщины заготовки S)	Формовка каплевидного ЭДТ не сопровождается кромковой волнистостью.
5. Устранение узких элементов	а) $b_t \geq 5 \text{ mm}$; б) более точно указанную толщину можно получить расчётом элемента вала на изгиб	Тонкий участок ролика для формовки узкого рифта часто подвержен излому.
6. Оптимизация формы отборонок	$15^\circ \leq \alpha_{отб} \leq 90^\circ, b_{отб} \approx (3..4)S$	Повышение жёсткости широкого

Критерий технологичности	Формальное описание	Примечание
		периферийного элемента.
7. Предельные размеры отбортовок	$3S \leq b_{отб} \leq 8S$. Превышение верхней границы снижает жёсткость периферийного элемента	В противном случае возникает сложность её формовки
8. Устранение участков с малой кривизной	$R_i(b_i) \leq 3S$	Малая кривизна зон изгиба даёт большое пружинение.
9. Устранение «слепых зон» формовки	а) $\alpha_{нес. полки} \leq 45^\circ$ (оформление углов в «слепых зонах» на первых переходах); б) $\alpha_{периф. подг.} \leq 0^\circ$ (отгиб периферийного элемента для доступа инструмента)	В слепых зонах – односторонний доступ инструмента, что ведёт к отклонению по радиусу в зонах изгиба.
10. Предотвращение волнистости дна	$h_{рифта} \approx (0,1 \dots 0,2)B$ при $C \geq 80S$ (выполнение треугольного или полукруглого рифта в средней части дна; В – ширина несущей полки; С – ширина дна профиля)	Продольные рифты (при их постепенной формовке) повышают жёсткость дна, предотвращая появление «хлопунов».
11. Предотвращение кромковой волнистости (КВ)	Формовка на широком периферийном участке элементов жёсткости (ЭЖ) с параметрами по п. 4 (для ЭД) или по п. 6 и 7 (для отбортовок)	Периферийные ЭЖ, повышая жёсткость несущей полки, предотвращают КВ.
12. Минимальный радиус изгиба	$r_i^{станд.} \approx (1,5 \dots 2,0)S$ $r_i^{min} \geq (0,5 \dots 1,0)S$ (низкоуглеродистые стали и деформируемые алюминиевые сплавы). При необходимости малые радиусы достигаются за счёт бульбообразного элемента или продольной канавки глубиной до 1/3 толщины заготовки	Малые внутренние радиусы трудны для формовки (износ валков) и могут приводить к разрушению наружного контура зоны изгиба или к нарушению покрытия заготовок с покрытием.

Критерий технологичности	Формальное описание	Примечание
13. Снижение уровня упругой отдачи	$r_t^{\text{min}} \leq r_t \leq r_t^{\text{станд}}$ (см. п.12)	Угол пружинения снижают торцовым поджатием или перегибом.
14. Произвольность расположения рисунка неослабляющей перфорации	$d_{\text{отв}} \leq 0,2B$ или $0,2C$ (диаметр/диагональ отверстия в соотношении с шириной полки B или дна C); $\Delta l \geq 3S$ (ширина перемычки)	Повторяющийся рисунок перфорации можно располагать произвольно, с учётом пп. 15 и 16
15. Предотвращение излома и концевой эффекта	а) $\Delta L \approx 0,5d_{\text{отв}}$ (сдвиг отверстий наибольшего диаметра по левой и правой полкам относительно друг друга); б) $\Delta L_{\text{конц}} \geq 12 \text{ мм}$ (расположение отверстия от конца детали)	а) Предотвращение излома полок б) Стандартные требования функциональности или сборки
16. Предотвращение деформации контуров отверстий	$\Delta L_{\text{лат}} \geq 3S$ (поперечное смещение края отверстия от зоны изгиба)	Предотвращение попадания отверстий на зону изгиба и деформирования их контуров

Отметим, что набор критериев технологичности в данной публикации шире, чем в известных зарубежных источниках [7, 8], где они представлены лишь на качественном уровне. Таким образом, в данном подходе удалось получить критерии технологичности в формализованном виде, которые могут быть включены программный модуль оценки технологичности профилей.

Библиографический список

1. Филимонов С.В., Филимонов В.И. Интенсивное формообразование гнутых профилей. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 444 с.
2. Марковцев В.А., Марковцева В.В., Филимонов В.И. Производство гнутых профилей для авиационных конструкций. Ульяновск: УлГТУ, 2016. 438 с.
3. ГОСТ 14205-83. Технологичность конструкций изделий. Термины и определения.
4. ГОСТ 14201-83. Общие правила обеспечения технологичности конструкций изделий.

5. Технологичность конструкции изделия: Справочник/ Под ред Ю.Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.

6. Филимонов В.И., Филимонов С.В., Карпов С.А., Кокорина И.В. Технологичность конструкции и производства гнутых профилей // Справочник. Инженерный журнал, 2015, № 8. – С. 11 – 17.

7. Groche P., Henkelmann M. Dimensional Deviation of Roll formed Components made of High Strength Steel, Key Engineering Materials, 2007, vol. 344. – P. 285 – 292.

8. Halmos G.T., Roll Forming Handbook. – Boca Raton: CRC Press, 2005. – 583 p.

УДК 621.981

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРАВКИ И ПРОДОЛЬНОЙ ГИБКИ В РОЛИКАХ ПРОФИЛЬНЫХ АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ С ПЕРЕМЕННЫМ РАДИУСОМ

Попов А.Г.¹, Марковцев В.А.², Кадеев А.А.³

1 – к.т.н., доцент каф. «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск

2 – д.т.н., генеральный директор АО «Ульяновский НИАТ», зав. каф. «Технологии ЗПП» УлГТУ, г. Ульяновск

3 – бакалавр 4 года каф. «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск

Аннотация. В современном российском авиастроении являются актуальными проблемы изготовления заготовок стрингеров панелей фюзеляжа и крыла из гнутых и прессованных профилей с обеспечения высокого качества профильных деталей и сокращение затрат на технологическую оснастку. Разработанная в АО «Ульяновский НИАТ» правильно-гибочная роликовая установка УПГР-1 позволит механизированно выполнять правильные и доводочные работы с тонкостенными гнутыми и прессованными профилями с достижением заданных радиусов продольной кривизны и сохранением лакирующего слоя. Использование в УПГР-1 методики «гибки со сжатием» особенно необходимо для работы с профильными деталями со знакопеременной кривизной из высокопрочных алюминиевых сплавов.

Ключевые слова: гнутый и прессованный профили, заготовка стрингера, продольная гибка, ролики, приводная клеть, высокопрочные алюминиевые сплавы, правка, сжатие.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR STRAIGHTENING AND LONGITUDINAL BENDING IN ROLLERS OF PROFILE AIRCRAFT PARTS WITH VARIABLE RADIUS

Popov A.G.¹, Markovtsev V.A.², Kadeev A.A.³

1 – Ph.D., associate Professor, DEP. "Material science and processing of metals by pressure" UlSTU, Ulyanovsk

2 – doctor of technical Sciences, General Director of PC «Ulyanovsk Research Institute of Aviation Technology and Production Organization», head. CFR. "technology for blanking and stamping production" UlSTU, Ulyanovsk

3 – bachelor 4 years caf. "Material science and OMD" UlSTU, Ulyanovsk

Abstract. In the modern Russian aircraft industry, the problems of manufacturing blanks for stringers, fuselage and wing panels from bent and pressed profiles are urgent in order to ensure high quality of profile parts and reduce the cost of technological equipment. Developed in JSC "Ulyanovsk NIAT" correctly-bending roller installation upgr-1 will allow you to perform mechanized correct and finishing work with thin-walled bent and pressed profiles with the achievement of specified radii of longitudinal curvature and preservation of the cladding layer. The use of the "bending with compression" technique in UPR-1 is especially necessary

for working with profile parts with alternating curvature made of high-strength aluminum alloys.

Keywords: bent and pressed profile, stringer billet, longitudinal bending, rollers, drive crates, high-strength aluminum alloys, straightening, compression.

В современных российских самолетах изготовление стрингеров панелей фюзеляжа и крыла самолета осуществляют путем продольной гибки и правки Z-образных прессованных и гнутых профилей из высокопрочных алюминиевых сплавов на заданные переменные радиусы кривизны соответствующий поверхностям панелей. При этом существующие технологии изготовления стрингеров предполагают наряду с основной продольной гибкой с растяжением на специальной гибочной оснастке многократную правку и гибку профильных заготовок после термообработки и мех обработки [1].

На рис. 1 представлена заготовка стрингера из гнутого профиля панели фюзеляжа самолета после продольной гибки на переменный радиус. Продольная гибка гнутых профилей с переменным радиусом осложняется не только низкой пластичностью высокопрочных алюминиевых сплавов, но и наличием на поверхностях профильных деталей плакирующего слоя с низкими механическими параметрами.

Наряду со стрингерами с переменными радиусами кривизны в панелях крыла самолета используются стрингеры со знакопеременной кривизной, пример которого представлен на рис. 2. Осуществить продольную гибку таких заготовок стрингеров по традиционной технологии гибкой с растяжением на гибочной оснастке практически не возможно.

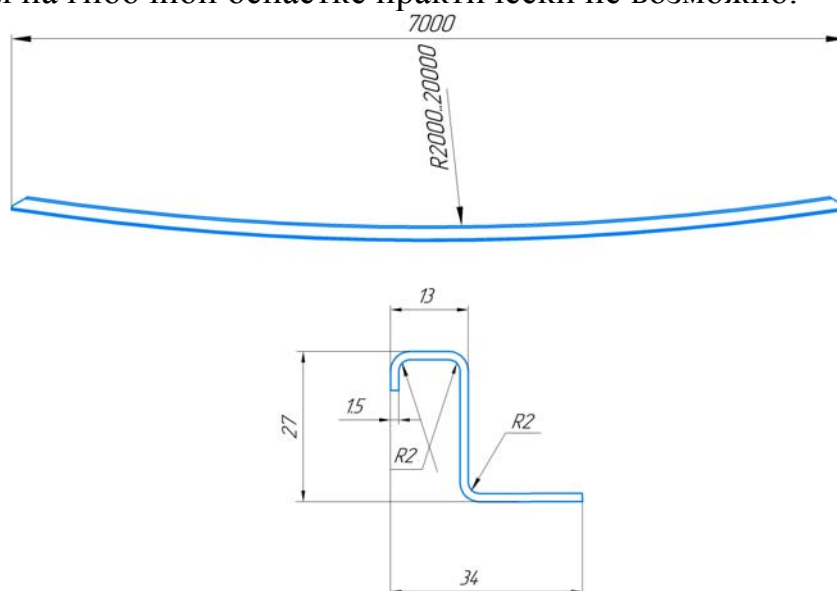


Рис. 1. Заготовка стрингера из Z-образного гнутого профиля панели фюзеляжа самолета с переменными радиусами кривизны.

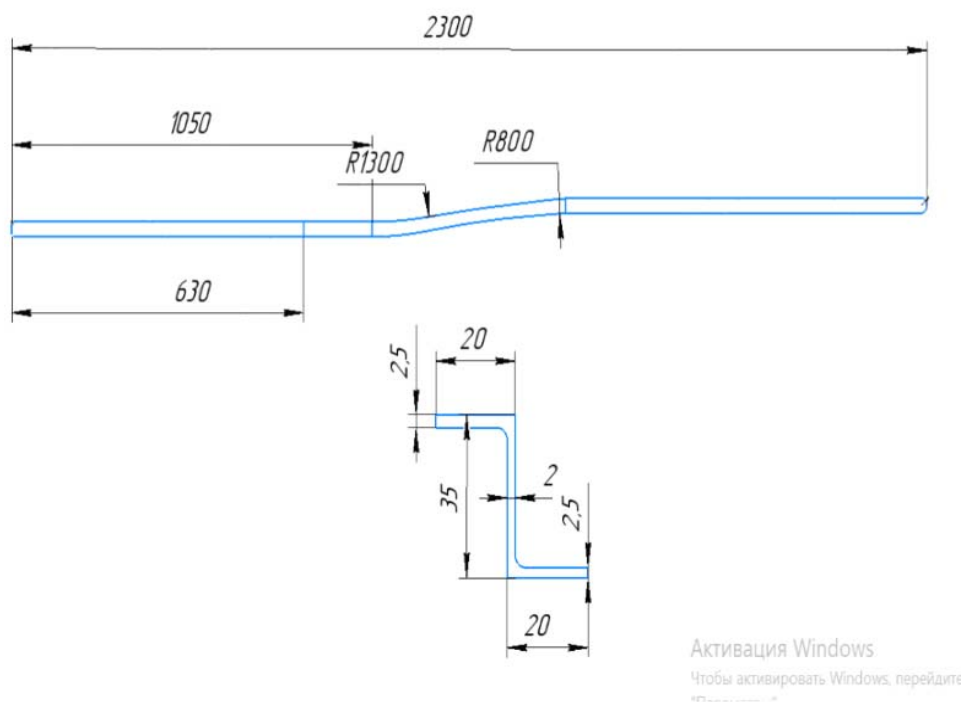


Рис. 2. Заготовка стрингера из Z-образного прессованного профиля панели крыла самолета со знакопеременной кривизной.

Правка и продольная гибка профильных авиационных деталей из прессованных и гнутых профилей на российских авиационных заводах, в т. ч. и на АО «Авиастар-СП», обычно выполняется с использованием специальной гибочной оснастки на профилегибочных гидравлических прессах с последующими многократными доводками и правками ударным инструментом. Наряду с высокими затратами на технологическую оснастку и оборудование, продольная гибка с растяжением предполагает термообработку профилей для обеспечения необходимой пластичности трудно деформируемым авиационным материалам. При изготовлении заготовок стрингеров со знакопеременной кривизной, как показано на рис. 2, используемые технологии ограничены свободной гибкой на универсальных гидравлических прессах и ударным инструментом. Все это, а особенно доводочные операции с ударным инструментом, требует высокой квалификации рабочего и больших трудозатрат, а также может привести к повреждению поверхностного слоя авиационной профильной детали.

В работах посвященных деформации высокопрочных сплавов отмечается, что сжимающие напряжения на участке деформации в процессах продольной гибки профильных авиационных деталей уменьшают опасность образования трещин на внешнем растянутом волокне при гибки и повышает пластичность металла, что особенно актуально для высокопрочных алюминиевых сплавов [2].

На основании экспериментальных исследований продольной гибки тонкостенных гнутых профилей из высокопрочных алюминиевых сплавов в АО «Ульяновский НИАТ» для проведения правильных и доводочных работ

разрабатывается установка правильно-гибочная роликовая УПГР-1, схема которой представлена на рис. 3.

В состав предлагаемой установки УПГР-1 входят:

- 2-х роликовая приводная прокатная клеть 3 с электрическим реверсивным сервоприводом;
- 3 гибочных роликовых клетки 4 с механизмами 6 перемещения относительно приводной клетки 3;
- корпус 2 установки для размещения приводной 3 и гибочных 4 клеток с пультом управления электрическим приводом;
- подающий и принимающий столы (на рис. не показаны);
- прибор для бесконтактного определения радиуса продольной кривизны заготовки 1 (на рис. не показан).

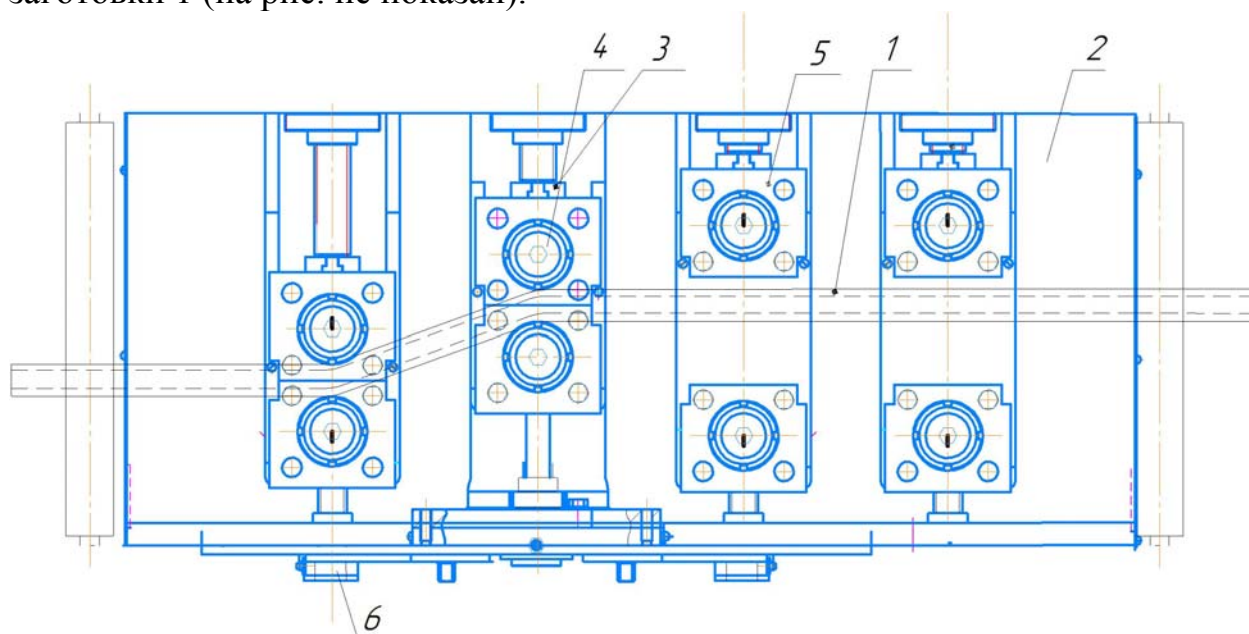


Рис. 3. Правильно-гибочной роликовой установки УПГР-1.

- 1- заготовка стрингера из гнутого профиля; 2- корпус; 3- приводная клеть;
4- ролики приводной клетки; 5- гибочная клеть; 6- механизм перемещения гибочных клеток.

2-

Особенностью предлагаемой установки УПГР-1 по сравнению с известными роликовыми гибочными установками является создание в приводной клетки 3 (см. рис. 3) сжимающих усилий $R_{сж}$, которые создают в очаге деформации условия для продольной гибке заготовки стрингера 1 с сохранением формы поперечного сечения. Данная технология использована в АО «Ульяновский НИАТ» для правки и продольной гибке профилей на гибочнопрокатных станках ГПС [3].

Библиографический список

1. Горбунов М. Н. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1981. — 224 с.

2. Лысов М. И., Сосов Н. В. Формообразование деталей гибкой. - Машиностроение, 2001. – 388 с.

3. Марковцев В.А. Формообразование стесненным изгибом в роликах и правка гнутых тонкостенных профилей / В.А. Марковцев, В.И. Филимонов. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2006. – 244 с.

УДК 621.715

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПОЛНИТЕЛЕЙ СВЯЗКИ НА СТРУКТУРУ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА, БАКЕЛИЗИРОВАННОГО В МИКРОВОЛНОВОМ ПОЛЕ

Сапунов В.В.¹, Веткасов Н.И.²

1 – к.т.н., доцент кафедры «Инновационные технологии в машиностроении» УлГТУ, г. Ульяновск.

2 – д.т.н., профессор кафедры «Инновационные технологии в машиностроении» УлГТУ, г. Ульяновск.

Аннотация. В статье представлены преимущества микроволновой технологии термообработки абразивного инструмента на органических термореактивных связках, а также обоснована необходимость введения в состав связки специальных наполнителей. Приведены результаты исследования влияния наполнителей связки на структуру абразивного инструмента, бакелизованного в микроволновом поле.

Ключевые слова: абразивный инструмент, бакелитовая связка, графит, гипс, сульфат магния, структура, пористость.

STUDY OF THE INFLUENCE OF BINDER FILLERS ON THE STRUCTURE OF AN ABRASIVE TOOL BAKELIZED IN A MICROWAVE FIELD

Sapunov V.V.¹, Vetkasov N.I.²

1 - Ph.D., associate professor of the department "Innovative Technologies in Mechanical Engineering" UlSTU, Ulyanovsk.

2 - Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Innovative Technologies in Mechanical Engineering, UlSTU, Ulyanovsk.

Abstract. The article presents the advantages of microwave technology for heat treatment of an abrasive tool on organic thermosetting bonds, and also substantiates the need for introducing special fillers into the composition of the bond. The results of a study of the influence of ligament fillers on the structure of an abrasive tool Bakelized in a microwave field are presented.

Keywords: abrasive tool, bakelite binder, graphite, gypsum, magnesium sulfate, structure, porosity.

В настоящее время имеет место существенное повышением требований к эксплуатационным свойствам абразивных инструментов (АИ) на органических термореактивных связках (ОТС), в частности, к их прочности, остаточным напряжениям, коэффициенту шлифования и наличию микротрещин. Указанные свойства преимущественно формируются на самой трудоемкой операции термообработки полуфабрикатов, выполняемой с целью полимеризации связки. На предприятиях, изготавливающих АИ на бакелитовой связке, применяется классическая технология термообработки их полуфабрикатов на основе конвективного теплообмена в печах-бакелизаторах. Производственные циклы термообработки инструментов по

таким технологиям весьма длительны и составляют в среднем 13 - 40 часов (в зависимости от типоразмера и характеристики инструмента). Удельные энергозатраты достигают 2,5 ... 3 кВт*ч/кг массы АИ [1 - 3]. К тому же эти технологии не отвечают современным требованиям по экологической чистоте. Перспективным представляется сокращение длительности цикла термообработки полуфабрикатов АИ и повышения их эксплуатационных свойств за счёт применения микроволнового нагрева. Длительность нагрева и всей операции термообработки полуфабрикатов АИ и других изделий на термореактивных органических связках можно сократить до 8 раз за счет применения микроволновых технологий, обладающих рядом уникальных свойств: 1) избирательность нагрева, благодаря которой в многокомпонентной смеси диэлектриков сильнее нагреваются составляющие, имеющие более высокий тангенс угла диэлектрических потерь; 2) равномерность нагрева за счет того, что электрическое поле мгновенно проникает в диэлектрические материалы на значительную глубину, прямо связанную с длиной волны излучения, обеспечивая равномерное распределение выделяющейся теплоты по всему объёму материала нагреваемого объекта, независимо от его теплопроводности; 3) высокий коэффициент преобразования энергии излучения в тепловую энергию: удельная энергоёмкость бакелизации с использованием СВЧ-энергетики - до 0,3 кВт-ч на один кг массы полуфабриката против 2,5...3 кВт-ч/кг при бакелизации конвективным способом. Кроме того, под действием электромагнитного излучения, ряд химических превращений протекает иначе, чем в обычных условиях, что открывает широкие перспективы использования концентрированных потоков энергии переменных электрических и магнитных полей для управления и стимулирования химических реакций и спекания при производстве АИ на бакелитовой связке [4 - 6]. Однако, следует учитывать, что микроволновый нагрев зачастую не обеспечивает требуемую равномерность распределения температур из-за наличия теплообмена наружных поверхностей термообрабатываемых полуфабрикатов с относительно холодной окружающей средой [7]. Еще одной проблемой является отсутствие на рынке специального промышленного оборудования для микроволновой бакелизации АИ. Кроме этого, в настоящее время отсутствует возможность одновременно термообрабатывать в микроволновом поле полуфабрикаты АИ с разным составом и свойствами, т.к. часть полуфабрикатов с большими радиопоглощающими свойствами будет греться значительно быстрее других, что приведет к перебакелизации одних полуфабрикатов и неполной бакелизации других. Повысить эффективность операции микроволновой термообработки можно за счет применения специальных радиопоглощающих наполнителей, например графита [8]. Кроме этого, дополнительно повысить производительность процесса термообработки позволяют адсорбирующие наполнители, способные эффективно улавливать летучие вещества, выделяющиеся в процессе бакелизации.

В рамках проведения исследований проводили сравнительный микроструктурный анализ характера включений микрочастиц различных наполнителей в состав органического связующего в экспериментальных кругах, полученных в условиях формирования их основной структурной пористости в процессе микроволновой бакелизации при одинаковом массовом соотношении абразивного зерна и связующего.

В качестве критериев анализа структуры использовали наличие на исследуемом образце пор, их количество и размер, равномерность распределения наполнителей и форма их проявления на шлифе.

Для проведения экспериментов использовали лабораторную шлифмашинку, компрессор СО-7А, стереоскопический микроскоп, отрезной станок модели GS-400, цифровой фотоаппарат, специальное приспособления для закрепления полуфабриката АИ на отрезном станке, специальное приспособление для проведения фотосъемки через объектив микроскопа с помощью цифрового фотоаппарата, приспособление для светодиодного освещения исследуемого под микроскопом образца, алмазный отрезной круг (АОК фирмы "Winter" D251 C23 B7 335 (AC6250/200)) типоразмера 400' 30' 1,8 мм, алмазный плоский двухсторонний диск ДАСПД-20.

Микроструктурный анализ прошедших микроволновую бакелизацию опытных и контрольных образцов проводили с помощью микроскопа с следующим образом:

- от исследуемого круга на отрезном станке модели GS-400 алмазным кругом отрезали сегмент с длиной хорды 80 мм;
- на плоскости среза сегмента с помощью лабораторной шлифмашинки алмазным плоским двухсторонним диском ДАСПД-20 формировали контрольные плоскости площадью 15...20 мм²;
- струей очищенного сжатого воздуха (0,5 МПа) удаляли частицы пыли после шлифования;
- протирали контролируемые поверхности спиртом этиловым ректифицированным (ГОСТ Р 51652-2000);
- на микроскопе исследовали поверхности шлифов контрольного и экспериментального образцов;
- проводили фотосъемку наблюдаемой структуры через объектив микроскопа;
- анализировали структуру экспериментальных абразивных кругов с различными наполнителями.

В соответствии с вышеизложенной методикой провели сравнительный микроструктурный анализ группы образцов с адсорбирующими наполнителями, изготовленных по рецептурам № 1-3, (табл. 1) и образца, содержащего адсорбирующие и радиопоглощающие наполнители, изготовленного по рецептуре № 4 (табл. 1).

Фотосъемку проводили с боковым освещением разной интенсивности в двух спектрах подсветки – с помощью лампы накаливания (штатной подсветки микроскопа) и с использованием светодиода, дающего спектр

освещения, смещенный в область коротких волн.

Анализ изображений шлифов АИ с адсорбирующими добавками без графита показал, что на шлифе АИ, изготовленного с добавлением только гипса в количестве 1,5 %, крупные поры практически отсутствуют, а при введении такого же количества сульфата магния появляется небольшое количество крупных пор.

Таблица 1. Рецептуры формовочных смесей для изготовления полуфабрикатов ШК

№ рецеп- туры	Масса компонентов формовочной смеси, г					
	Абразивное зерно 25А F80	Сульфат магния безводный	Графи т ГЛ-1	Гипс ГВВС-16	Увлажнитель Абразит-031	Связка СФП-012А3
1	1000	-	-	15	45	90
2		15	-	-		
3		45	-	-		
4		15	20	-		

При увеличении содержания сульфата магния до 4,5 % по отношению к массе абразивного зерна происходит резкое увеличение количества крупных пор. Гипс в отсутствие графита отчетливо проявляется на шлифе в виде отдельных вкраплений и конгломератов белого цвета, а сульфат магния в виде мутной и неравномерной пленки белого цвета. Судя по изображениям шлифов АИ, содержащих адсорбирующие (сульфат магния) и радиопоглощающие (графит) наполнители, можно сделать вывод о том, что количество пор (черных участков и «точек» на изображениях) сопоставимо с количеством пор в шлифовальном круге, содержащем только сульфат магния.

Благодаря способности графита легко «отслаивать» тончайшие слои своей кристаллической решетки и «замазывать» контактирующий с ним материал, этот наполнитель на фотографиях практически не заметен, однако при увеличении количества сульфата магния до 4,5 % по отношению к массе абразивного зерна, он всё же проявляется.

Таким образом, выявлено, что при комплексном использовании адсорбирующего (сульфат магния) и радиопоглощающего (графит) наполнителей, графит «обволакивает» все компоненты формовочной смеси и при обработке шлифа спиртом частично защищает от растворения образованный в процессе термообработки кристаллогидрат сульфата магния. Незначительное уменьшение количества пор в этом случае можно объяснить уменьшением процентного содержания связки и незначительным увеличением плотности полуфабриката АИ в связи с увеличением массы формовочной смеси, засыпаемой в пресс-форму. При увеличении содержания

сульфата магния в формовочной смеси возрастает число крупных пор, что можно объяснить растворением образованного кристаллогидрата магния при обработке шлифа спиртом и образованием на его месте дополнительных пор. Очевидно, что чем больше на поверхности АИ кристаллогидрата, тем больше образуется новых пор после воздействия на шлиф спирта.

Библиографический список

1. Худобин Л.В. Перспективные СВЧ-технологии изготовления шлифовальных кругов на органических термореактивных связках / Л. В. Худобин, Н. И. Веткасов, А.И. Капустин, В. В. Сапунов // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии ИМ. П.А. Соловьева. – 2017. – № 2(41). – С. 245 -251.
2. Диденко А.Н. СВЧ-энергетика: теория и практика. – М.: Наука, 2003. – 446 с.
3. Сапунов В.В. Математическое моделирование микроволнового нагрева полуфабрикатов абразивного инструмента / В. В. Сапунов, Н. И. Веткасов, Л. В. Худобин // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2015. – № 3-1 (33-1). – С. 117 - 122.
4. Михайлин С. М. Моделирование распределения тепловой мощности сверхвысокочастотного излучения в камере поликонденсации композитных материалов / С. М. Михайлин // Вестник УлГТУ. – 2009. – №1.
5. Морозов Г.А., Морозов О.Г. Микроволновые технологии. Результаты и новые задачи // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. –2006.– № 3. – С. 82-91.
6. Сапунов В.В. Совершенствование технологии изготовления абразивного инструмента на бакелитовой связке с применением микроволнового излучения / автореферат дис. ... кандидата технических наук / Ульян. гос. техн. ун-т. Ульяновск, 2015. – 22 с.
7. Способ СВЧ-термообработки полуфабрикатов из композиционных материалов на органических термореактивных связках: пат. 2545939 РФ / А.И. Капустин, Л.В. Худобин, В.В. Сапунов, Н.И. Веткасов, С.М. Михайлин, А.А. Капустин, опубл. 10.04.2015. Бюл. № 10. – 7 с.
8. Способ изготовления абразивного инструмента на органической термореактивной связке: пат. 2460631 РФ / Н.И. Веткасов, Л.В. Худобин, С.В. Михайлин, С.В. Жданов, А.И. Капустин, В.В. Сапунов, опубл. 10.09.2012. Бюл. № 25. – 4 с.

УДК 621.981

ОДИН ИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ГНУТОЛИСТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ

Турундаев К.В.

*к.т.н., ведущий инженер-конструктор АО «Ульяновский НИАТ», г. Ульяновск
e-mail: ulniat2012@rambler.ru*

Аннотация. Статья посвящена вопросам повышения качества гнутолистовых профилей для продольно – поперечного силового набора летательных аппаратов. Автор решает задачу правки профилей. Разработана модель правки профилей, даны технологические рекомендации.

Ключевые слова: гнутолистовой профиль, метод интенсивного деформирования, профилирование, летательный аппарат.

A WAY TO IMPROVE THE QUALITY OF SHEET-BENT PROFILES

Turundaev K.V.

*Ph.D., leading design engineer, JSC "Ulyanovsk NIAT", the city of Ulyanovsk
e-mail: ulniat2012@rambler.ru*

Abstract. The article is devoted to the questions of increasing the quality of the bent profiles for the longitudinal - transverse power set of aircrafts. The author solves the problem of editing profiles. Profile editing model developed, and technological recommendations have been given.

Keywords: profile bent from sheet, intensive deformation method, profiling, aircraft.

Важной проблемой при производстве изделий авиакосмической техники является изготовление профилей, обладающих высокими ресурсными и жесткостными характеристиками. Это определяется требованиями снижения массы, увеличение срока эксплуатации летательных аппаратов (ЛА) [1].

Вопросы повышения ресурса и жесткости продольно – поперечного силового набора ЛА определяют применение гнутолистовых профилей, изготовленных из низкопластичных материалов, с радиусом по зонам сгиба, равном толщине листа. Применение гнутых из листа профилей позволяет увеличить ресурс до 60 тысяч часов, что в 2-3 раза выше, чем у прессованных [2].

Наиболее эффективным и прогрессивным способом изготовления таких профилей для ЛА является метод интенсивного деформирования (МИД), при использовании которых осуществляется прокатка заготовки через несколько последовательно расположенных роликовых пар, имеющих закрытый рабочий калибр, с приложением торцевого поджатия по кромке профиля.

Конструктивно это обеспечивается вертикальными буртами нижних роликов, что дает возможность вести более жесткую схему гибки. Однако их

наличие создает более тяжелое напряжено деформированное состояние для профиля в рабочем калибре. Отсюда возникают проблемы с качеством профиля: продольная кривизна, поперечная крутка профиля. Описанные дефекты ведут при дальнейшей эксплуатации профилей к потере эксплуатационных и декоративных качеств [3], и соответственно уменьшению ресурса данного изделия.

Для устранения вышеописанных дефектов была разработана теоретическая модель, описывающая деформацию профиля при правке во время профилирования. Это дает всестороннее использование возможностей прокатных станов для совмещения процессов прокатки и правки.

На основе учета и анализа геометрических параметров профиля до, во время, после правки и учета упрочнения материала профиля, была получена модель правки профиля во время профилирования. Получены выражения для относительного удлинения дна профиля до правки по отношению к дну профиля во время правки:

$$\varepsilon = \left(\left(\frac{R - R_{Н.Л.} * R_{Н.Л.1}}{R_{Н.Л.}} \right) * \frac{E}{K} \right)^{\frac{1}{n}}, \quad (1)$$

где $R_1, R_{Н.Л.1}$ – радиус кривизны профиля по дну и по нейтральному слою на выходе из последней роликовой пары (без правки);

$R, R_{Н.Л.}$ – радиус кривизны профиля по дну и по нейтральному слою во время правки;

K, n – константы упрочнения металла.

$$\varepsilon = \frac{R}{R_{Н.Л.}} * \frac{R_{Н.Л.1}}{R_1} - 1 \quad (2)$$

Условием прямолинейности профиля после правки является равенство выражений (1,2). Решение соответствующих уравнений с привлечением ЭВМ позволяет вычислить требуемый радиус правки R по известным параметрам $R_1, R_{Н.Л.1}, K, n$.

Упрощенная модель процесса правки основана на дополнительных допущениях:

1. Напряжения, возникающие при правке в профиле, принимаются равными σ_T .

2. Нейтральная линия профиля проходит через центр тяжести его сечения.

3. Кривизна профиля до правки не влияет на процесс правки ($R_1 = R_{Н.Л.1} = \infty$).

При введении дополнительных допущений, упрощающих модель процесса правки, было получено удобное для использования в производстве выражение:

$$R_{у.т} = k_{пр.} * \left(y_{ц.т.} + \left(E / \sigma_T \right) * y_{ц.т.} \right), \quad (3)$$

где $R_{у.т.}$ - упрощенный (теоретический) радиус правки, мм;

$k_{\text{пр}}$ -поправочный коэффициент, подобранный экспериментально, учитывающий кривизну профиля (до правки) и механические свойства материала;

$U_{\text{ц.т.}}$ - центр тяжести профиля.

На основе модели был разработан и запатентован новый способ и устройство правки профилей во время профилирования (рис.1) [4]. Суть способа заключается в том, что ось, проходящая через центр нижнего и верхнего правильного ролика, располагается не вертикально, как раньше, а под углом. В результате изменения угла поворота правильных роликов можно добиться получения прямолинейного профиля. То есть, если профиль при выходе из последней роликовой пары (движение слева направо) имеет кривизну вниз, то правильные ролики нужно поворачивать против часовой стрелки и поднимать вверх (рис.2); если же профиль идет вверх, то правильные ролики нужно поворачивать по часовой стрелке и опускать вниз.

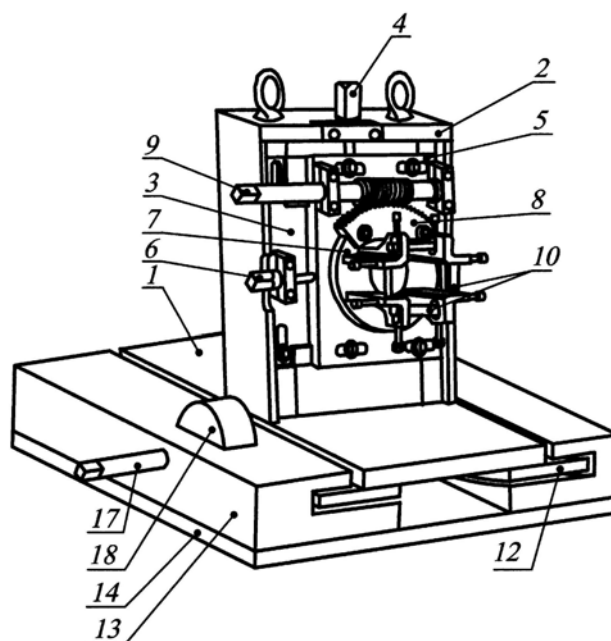


Рис. 1. Правильное устройство, аксонометрическая проекция:

1 – основание; 2 - станина; 3 - плита; 4 - болт; 5 - плита; 6 - болт; 7 - обойма; 8 – зубчатый сектор; 9 - червяк; 10 - оси; 11 – правильные ролики; 12 - ползуны; 13 - направляющие; 14 – плита; 15 – правильный блок; 16 – поворотный стол; 17 - вал; 18 – зубчатое колесо.

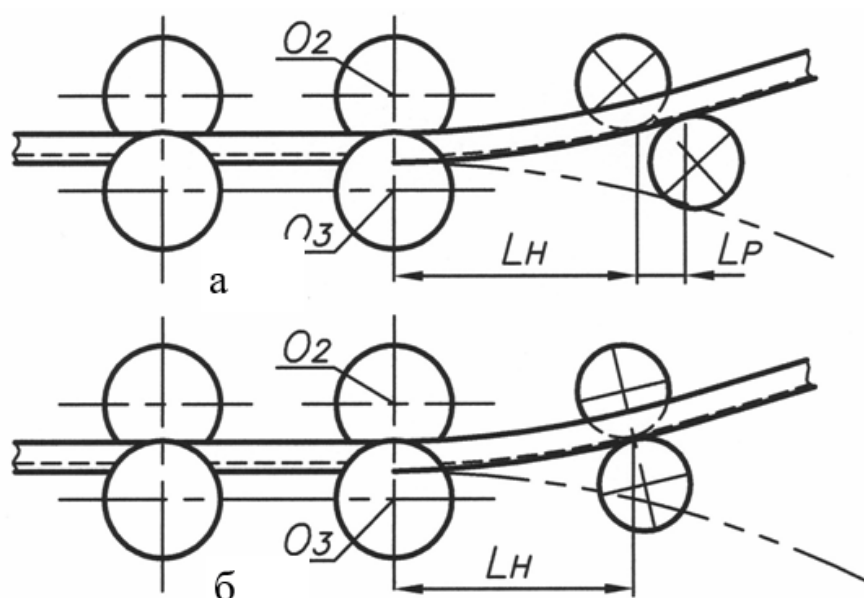


Рис. 2. Один из способов правки профилей:

- а- правка с зазором и поднятием правильных роликов;
б- правка без зазора и поднятием правильных роликов.

O_2, O_3 - последняя профилегибочная пара;

L_H - расстояние между последней профилегибочной парой и точкой касания правильных роликов с профилем;

L_P - расстояние между точками касания с профилем верхнего и нижнего правильного ролика.

Таким образом, разработанная теоретическая модель правки профиля во время профилирования, позволяет на производственной стадии, закладывать высокие показатели качества с минимальными капитальными затратами.

Библиографический список

1. Житомирский, Г.И. Конструкция самолетов [Текст]/ Г.И. Житомирский. - М.: Машиностроение, 1991.- 400с.
2. Колганов, И.М. Процессы стесненного изгиба при различных методах формообразования [Текст]/ И.М. Колганов. - Ульяновск: УлГТУ, 2001. - 108с.
3. Мазур, И.И. Управление качеством [Текст]/ И.И. Мазур, В.Д. Шапиро.-2-е изд. - М.: Омега-Л, 2005. -400с.
4. Пат. №2356670 РФ, МПК⁷ В 21 D 3/02. Правильное устройство для правки профилей [Текст] / Колганов И.М., Турундаев К.В., Филимонов А.В. - Опубл. в Б.И. 27.05.2009 № 15.

Секция 4

«Гуманитарные науки в авиационно-космических технологиях»

УДК 338.45

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАРКЕТИНГОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВИАСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ: КЛАСТЕРНЫЙ ПОДХОД

Жестков Д. В.

аспирант Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», филиал в г. Сызрань.

Аннотация. В статье анализируется специфика авиастроительного кластера и кластерный подход в управлении его предприятиями. Приведены задачи отечественного авиастроения, сформулированные в утверждённых стратегических документах. Рассматриваются особенности маркетинговой деятельности авиационного предприятия. Обосновывается, что применение кластерного подхода повышает общую эффективность входящих в его состав предприятий.

Ключевые слова: авиастроение, предприятия авиационного кластера, концентрация производства, кооперация, маркетинг, маркетинговое управление, регулирование.

IMPROVING THE MARKETING ACTIVITIES OF AIRCRAFT ENTERPRISE: CLUSTER APPROACH

Zhestkov D. V.

*Military air force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin, Syzran;
Postgraduate student. E-mail: inna-reg73@mail.ru*

Abstract. The article analyzes the specifics of the aircraft cluster and cluster approach in the management of its enterprises. The tasks of the domestic aircraft industry formulated in the approved strategic documents are given. Features of marketing activity of the aviation enterprise are considered. It is proved that the application of the cluster approach increases the overall efficiency of its constituent enterprises..

Keywords: aircraft industry, aviation cluster enterprises, production concentration, cooperation, marketing, marketing management, regulation.

В условиях низких темпов экономического развития между авиастроительными предприятиями обостряется конкуренция. Поэтому требуются грамотные маркетинговые решения, которые позволят стимулировать спрос и выбирать наиболее перспективные рыночные сегменты.

Цель данной статьи – характеристика специфики маркетинга авиационного предприятия и определение направлений совершенствования его маркетинговой деятельности в контексте кластерного подхода в управлении.

Хотя авиастроительные предприятия являются самостоятельными субъектами хозяйственной деятельности, в настоящее время они являются элементами сформировавшихся в Российской Федерации региональных

авиационных кластеров. Деятельность авиастроительных предприятий интегрирована в региональную экономику, что отражается в различных направлениях рыночного поведения – от договоров с потребителями и формирования конечной отпускной цены заказов до участия в выставках и других маркетинговых коммуникаций [3, 5]. Предприятия авиастроительного кластера отличает высокая межотраслевая концентрация производства. Это позволяет оперативно реагировать на быстро рыночные изменения.

Кластерный подход в управлении предполагает скоординированное регулирование производственных процессов предприятий. Под регулированием понимается одна из функций управления, которая имеет целью поддержание управляемой системы в заданном режиме функционирования. Регулирование предполагает, что управленческий процесс происходит по выработанным и формально закреплённым регулятивным принципам [2, с. 149]. Преимущества кластерного подхода в управлении обосновывались во многих исследованиях. Для авиастроения данный подход наглядно демонстрирует преимущества в распределении трудовых ресурсов региона, в возможностях обмена инновационными технологиями между участниками кластера, в стимулировании инноваций.

Кластерный подход позволяет более рационально распределять ресурсы скоординированных предприятий, в частности, он содержит пути улучшения использования основных фондов: стабильность и своевременность обеспечения производства рабочей силой, сырьём, энергоресурсами позволяет сокращать простои оборудования; благодаря снижению потерь сырья, полуфабрикатов, оборудования при транспортировке, хранении, переработке, сокращаются потери, связанные с утилизацией отходов производства; на предприятиях, скооперированных в рамках кластера, отмечается более полная переработка сырья.

Отечественные предприятия авиастроения сформировались и длительное время развивались в условиях плановой экономики, не имели возможности разрабатывать независимую товарную и ценовую политику, а произведённая ими продукция распределялась в условиях государственного контроля. В современных условиях в отечественном авиастроении сохраняется высокий государственный контроль, что накладывает определённую специфику на рыночное поведение предприятий и на их маркетинг. Авиастроительные предприятия прибегают к методам маркетинга, чтобы отслеживать и прогнозировать тенденции рынка, своевременно реагируя на динамику его конъюнктуры.

В настоящее время можно видеть следующие особенности маркетинговой деятельности авиационного предприятия:

1) для предприятий данной отрасли характерны элементы маркетингового комплекса, существующие и в других отраслях производства (4Р), в связи с этим, у авиационных предприятий присутствуют классические четыре стратегических направления маркетинга – товарная политика, ценовая политика, управление система сбыта и система маркетинговых

коммуникаций;

2) поскольку авиастроительные предприятия имеют длительный производственный цикл и ограниченное количество потенциальных покупателей, их маркетинговая деятельность строится в рамках долгосрочной корпоративной стратегии и основывается на данных маркетинговых исследований рынка, потребительского спроса, конкурентной ситуации;

3) большой объём информации о внешних и внутренних факторах, влияющих на производственно-сбытовую деятельность авиационных предприятий, нуждается в регулярной систематизации, что осуществляют различные типы маркетинговых информационных систем; они являются элементом автоматизированного производственного цикла предприятий и используют корпоративную базу данных.

Маркетинговое управление позволяет авиапроизводителям преодолеть неблагоприятные условия на рынке [4, с.130]:

- низкий уровень спроса на воздушные суда отечественного производства на внутреннем и внешнем рынках;
- относительно высокий уровень инфляции в России;
- высокую конкуренцию на региональных рынках;
- жёсткую налоговую политику;
- проблему неплатежей за отгруженную потребителям продукцию;
- отсутствие стимулов к производству инновационной продукции и модернизации имеющихся технологий;
- отсутствие стимулов к долгосрочным инвестициям.

По оценкам Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, в мире за 2015-2025г. произойдёт удвоение пассажиропотока и также рост грузопотока в 2,3 раза, что увеличит в 2,9 раза мировой спрос на воздушные суда. Объём мирового рынка авиационной продукции вырастет в 2,1 раза до 543,3 млрд. долларов, причёт около 68% этой суммы придется на гражданский сегмент. Государственной Программой «Развитие авиационной промышленности на период 2013-2025гг.» запланировано построить более 3,3 тыс. самолетов и 5,5 тыс. вертолетов гражданского и военного назначения, выпустить более 33 тыс. авиадвигателей. Ряд задач данной Программы имеют маркетинговый характер [1]:

- продвигать продукцию отечественной авиационной промышленности на внутренних и внешних рынках, локализовать производства иностранных компаний отрасли и импортозамещение;
- формировать продуктовые линейки в виде семейства продуктов, диверсифицироваться на смежные неавиационные рынки;
- поднять к 2025г. производительность труда предприятий самолетостроения до 19 184 тыс. руб. на человека в год, увеличить серийность производства, что позволит снизить себестоимость самолетов;
- занять к 2025г. 3,2% мирового рынка (в денежном выражении) в гражданском самолётостроении и 10,9% рынка военной авиатехники

(в 2011г. было 1,1% и 12,5% соответственно).

Реализация данных задач осуществляется не изолированными предприятиями, а работающими в кооперации в рамках региональных кластеров. Маркетинговое управление призвано точнее согласовывать деятельность предприятия с колебаниями рыночной конъюнктуры, а в условиях кластеров авиапроизводители имеют дополнительные ресурсы для этого. Таким образом, применение кластерного подхода повышает общую эффективность входящих в его состав предприятий и отвечает задачам гибкого регулирования маркетинговой деятельности.

Библиографический список

1. Государственная программа «Развитие авиационной промышленности на период 2013-2025 годы». – URL: http://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/gp_rap_140228.pdf
2. Захарова И.В. Маркетинг. Учебное пособие для СПО. Саратов: Ай Пи Ар Медиа, 2019. – 152 с.
3. Захарова И.В. Расширенная кооперация как особенность взаимодействия организаций регионального авиационного кластера // Системы управления жизненным циклом изделий авиационной техники: актуальные проблемы, исследования, опыт внедрения и перспективы развития: Тезисы докладов V Международной научно-практической конференции. – Ульяновск: УлГУ, 2016. – 263 с. – С. 49-51.
4. Захарова И.В. Региональные промышленные кластеры: обзор теоретических концепций и практики // Проблемы и перспективы экономических отношений предприятий авиационного кластера. Сборник научных трудов / Отв. за выпуск И.Г. Нуретдинов. – Ульяновск: УлГТУ, 2016. – 207 с. – С.129-134.
5. Исупов, А. М. К вопросу о сущности и структуре авиастроительных кластеров / А.М. Исупов, Н.М. Тюкавин // Вестник Самарского государственного университета. – 2013. – № 10 (111). – С. 25–31.

УДК 623.7; 37.035.7

**ВОСПИТАНИЕ БАЗОВЫХ ЖИЗНЕННЫХ ЦЕННОСТЕЙ
У КУРСАНТОВ АВИАЦИОННОГО УЧИЛИЩА****Клеймёнова Т.Н.**

канд. с/х наук, старший преподаватель кафедры математики и ЕНД, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», филиал в г. Сызрань

Аннотация. В статье рассматриваются воспитательные аспекты профессиональной подготовки курсантов военного авиационного училища. Излагается опыт подготовки офицеров Военно-воздушной академии. Обосновывается значимость гуманитарных дисциплин для формирования мировоззрения и профессионально важных качеств курсантов.

Ключевые слова: военная авиация, подготовка пилотов, профессиональная направленность личности, ценности, воспитание, профессионально важные качества.

**EDUCATION OF BASIC LIFE VALUES OF CADETS
AVIATION SCHOOL****Kleimenova T. N.**

*Military air force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin, Syzran; ;
Cand. Agricultural Sciences, senior lecturer. E-mail: inna-reg73@mail.ru*

Abstract. The article deals with educational aspects of professional training of cadets of military aviation school. The experience of training officers of the Air force Academy is presented. The author substantiates the importance of humanitarian disciplines for the formation of worldview and professionally important qualities of cadets.

Keywords: military aviation, pilot training, professional orientation of the person, values, education, professionally important qualities.

Основой воспитательной работы в военных образовательных учреждениях является формирование представления об основных профессионально-этических нормах поведения офицерского состава. От профессионализма офицерского состава зависит боеспособность подразделений, частей и соединений постоянной готовности. Помимо знаний, важно формирование у курсантов профессионально важных качеств (ПВК). Под ними понимаются отдельные черты личности, психические и психомоторные, а также физические качества, способствующие овладению определённой профессией и совершенствованию приобретённых профессиональных навыков.

Содержание воспитания в военных образовательных организациях всегда составляли нравственные категории (честь, совесть, долг) и нравственные обязанности. Большую роль в профессиональной подготовке

курсантов имеет также формирование базовых жизненных ценностей: любви к родине, уважения к людям, демократии. В настоящее время для отечественной системы подготовки офицерских кадров сохраняется актуальность этических основ профессии. Опыт такой подготовки имеется в Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина.

Цель данной статьи – анализ воспитательного потенциала гуманитарных дисциплин в формировании профессионального мировоззрения курсантов авиационного вуза.

Формирования ценностей рассматривается в педагогике как основа воспитания [6, с.22]: ценностные ориентации – это субъективное, индивидуальное отражение в психике человека социальных ценностей общества на определенном историческом этапе, они представлены в сознании человека в форме *идеалов, целей, норм* его жизни, характеризуют его жизненную позицию и воплощаются в его поведении. Профессиональная подготовка специалистов авиакосмической отрасли предполагает не только овладение современными знаниями и навыками, но формирование определённой направленности личности, выраженной в интересах, убеждениях, идеалах человека, в его отношениях к другим людям, к самому себе и к предметам внешнего мира. Профессиональная направленность личности проявляется в совокупности устойчивых мотивов, ориентирующих человека при выполнении профессиональных обязанностей.

Время ставит новые задачи профессиональной подготовки военных пилотов. Развитие авиатранспортной системы Российской Федерации и совершенствование её воздушного флота требуют нового качества кадров ВВС [1; 2]. Высокий уровень ПВК к окончанию учебного заведения будет способствовать успешной и длительной профессиональной деятельности.

История развития российской военной школы показывает, что военной педагогикой был разработан своеобразный морально-нравственный кодекс поведения офицерского и рядового состава русской армии, целью которого являлось формирование необходимых нравственных качеств личности военнослужащего [7]. Традицией российской армии было воспитание людей, не только преданных Родине и воинскому долгу, но и высокообразованных, думающих, творческих личностей. Их деятельность проявлялась во всех областях российской культуры: М.Ю. Лермонтов, Л.Н. Толстой, Н.А. Римский-Корсаков и многие другие российские офицеры стали её символами. Ценности государственно-патриотического, воинского и нравственного воспитания продолжают в современных учебных заведениях Министерства обороны Российской Федерации.

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия» осуществляет подготовку разносторонне образованных офицеров, которые осознанно выбрали профессию, требующую высокой этической ответственности [6]. Её выпускники должны на высоком уровне обеспечивать качественную и безаварийную эксплуатацию военной техники,

а также управление воинскими подразделениями. Для этого требуется не только знание авиационной техники, но и обладание определёнными личностными качествами.

Воспитательная работа в учебном заведении строится в непосредственной взаимосвязи с учебной деятельностью. И в гуманитарных дисциплинах, и в естественно-научных дисциплинах существует большой воспитательный потенциал. Содержание ряда учебных дисциплин имеет высокий воспитательный потенциал, позволяет формировать мировоззрение курсантов. Рассмотрим опыт Военно-воздушной академии.

1) *Философия*. Помимо знаний о наиболее общих принципах и закономерностях бытия, познания, отношения человека и мира. В рамках данной области знания будущие военные специалисты не только рассматривают культурные основы цивилизаций, но и имеют возможность задуматься о собственном смысле жизни, экзистенциальной связи со всем человечеством и родной страной, собственным народом. Мировоззренческая сторона изучения философии является основой формирования ПВК военных пилотов.

2) *Блок исторических дисциплин*. Воспитание на исторических примерах, традициях и опыте является действенным педагогическим средством. В настоящее время история как средство воспитания приобретает всё большую значимость. В целях воспитания следует в наибольшей степени ориентироваться на философско-мировоззренческий, педагогический, воспитательный потенциал истории. Значение его возрастает по мере ухода участников исторических событий. Важная роль отводится правильной трактовке происходившего для будущих поколений. Особую ценность для воинского воспитания личного состава имеют боевые традиции армии и флота Российской Федерации. Их изучение, пропаганда, продолжение и преумножение активно способствуют формированию у военнослужащих важных морально-боевых качеств, которые необходимы в современном бою.

3) *Блок филологических дисциплин*. Проявлением любви к Родине является любовь к родному языку. Современная цивилизация стоит перед кризисом книжной образованности, снижается интерес к чтению научной, политической, социально значимой литературы. На преодоление данной тенденции направлена национальная программа поддержки и развития чтения на 2007-2020 годы. Целью Программы называется «развитие грамотности и культуры чтения в России, повышение интеллектуального уровня граждан страны». Речь курсантов наполнена понятиями практической или обыденной морали. Внешне это проявляется в не безобидном распространении просторечных, жаргонных и сленговых выражений в речи. Это не способствует эффективному формированию профессионально важных качеств. Во всех случаях язык сквернословия демонстрирует ограниченность, неразвитость того, кто прибегает к таким языковым средствам. Русский язык и культура речи – это учебная дисциплина, которая обеспечивает достижение названной цели. Происходит формирование личности через слово.

Идеалы, мировоззрение личности формируются в результате внутренней работы – самовоспитания. При этом в Военном учебно-научном центре ВВС «Военно-воздушная академия» при обучении, воспитании и развитии курсантов главную роль играют их командиры. Важная роль отводится также управлению курсантскими подразделениями. Это является одним из факторов интенсификации обучения, повышения качества подготовки курсантов как будущих военных руководителей.

Важно отметить и то культурное влияние, которое оказывает учебное заведение на его регион. Исследователями не раз обосновывалось, что региональная система образования и вузы как её стержневые элементы обуславливают стабильность региона, его кадровый и инвестиционный потенциал [3, 4]. Традиции и уклад жизни учебных заведений ВВС являются нравственным ориентиром молодёжи и обуславливают неизменно высокий конкурс среди абитуриентов.

Таким образом, содержание профессиональной подготовки в образовательных учреждениях военной авиации имеет значительный воспитательный потенциал. Особенную роль в этом играют гуманитарные дисциплины.

Библиографический список

1. Волковский Н.Л. Энциклопедия современного оружия и боевой техники. В 2-х т. Т.1. СПб.: Полигон, 1997. 376 с.
2. Махитько В.П., Захарова И.В. Введение в специальность «Организация аэропортовой деятельности». Ульяновск: УИ ГА, 2017. 108 с.
3. Захарова И.В. Вуз как элемент регионального образовательного пространства // Проблемы образования в условиях инновационного развития. Сборник статей педагогического форума «Проблемы образования в условиях инновационного развития» (г. Саранск, 27-28 сентября 2018 г.) / ред. Т.И. Шукшина, Ж.А. Каско. – Саранск: МГПУ, 2018. 144 с. С.35-40.
4. Захарова И.В. Рынок высшего образования в контексте социально-экономических преобразований // Региональная экономика: актуальные вопросы и новые тенденции. Материалы IV Международной научно-практической конференции. Отв.ред. А.К. Дементьева. Ульяновск: УлГТУ, 2018. 233 с. С.31-36.
5. Педагогика / Сост. И.В. Захарова. Ульяновск: УлГПУ имени И.Н.Ульянова. 2017. 31 с.
6. Рудиков В.С., Куницын В.П. Сызранское вертолётное. Начало пути. Сызрань: СВВАУЛ, 2010. 592 с.
7. Цыплаков Ю.М. Кузница лётных кадров: краткий исторический очерк о развитии Сызранского высшего военного авиационного училища. Сызрань, 1987. 158 с.

УДК 02.41.41: 13. 11.44

**УНИКАЛЬНОЕ И УНИВЕРСАЛЬНОЕ В ФИЛОСОФИИ ЦИФРОВОЙ
АВИАКОСМИЧЕСКОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ****Марковцева О.Ю.***д. филос. н, научн. рук. Центра социально-этнических исследований, г. Ульяновск*

Аннотация. Философия в любые эпохи и времена демонстрировала уникальные и универсальные идеи, концепции, на основе которых конституализировалась и конструировалась ее специализация, а также весь спектр исторической действительности. Цифровая и авиакосмическая практика современного социума, становясь особым культурным феноменом (предметом) философской мысли, меняет «контент» философии таким образом, что в нем авиакосмическое уникальное становится универсальным, а универсальное проявляется своей уникальностью в авиакосмической тематике.

Ключевые слова: уникальное, универсальное, философия, культура, цифровая сфера, социум, авиакосмическое, цивилизация.

**UNIQUE AND UNIVERSAL IN THE PHILOSOPHICAL CULTURE OF
DIGITAL AND AEROSPACCE CIVILIZATION****Markovtceva O. Yu.***Doctor of philosophy. Director of Center for social and ethnic studies (Ulyanovsk)*

Abstract. Philosophy has demonstrated unique and universal ideas, concepts that have been used to formalize and construct its specialization, as well as the entire spectrum of historical reality in all eras and times. Digital and aerospace practice of modern society, becoming a special cultural phenomenon (subject) of philosophical thought, changes the "content" of philosophy in such a way that in it the aerospace unique becomes universal, and the universal manifests its uniqueness in the aerospace theme.

Keywords: unique, universal, philosophy, culture, digital sphere, society, aerospace, civilization.

Актуальность. В современную цифровую, авиакосмическую эпоху развитие получает такое уникальное направление в философской культуре, начало которому определили представители русского космизма: Н. Ф. Федоров, Циолковский А. Л., Чижевский К. Э., Вернадский В. И. и другие, в западноевропейской духовной культуре наиболее ярким представителем данного направления является Пьер Тейяр де Шарден. Тезис уникального и универсального в различных ведущих сферах современной социальной жизни актуален в истории массовой культуры, ее учебно-образовательной, воспитательной, научной, экономической, геополитической, промышленной, технической и других сферах, технологиях, их последствиях, словом, всех систем образа жизни человека в планетном масштабе.

«Массовость» как одна из базовых характеристик современного периода установилась таковой в связи с Интернет-технологий, широким применением персональных гаджет-ресурсов. В текущем итоге организовались многоплановые поликультурные социума общего и «частного» индивидуального масштаба, формируя особую «масс-онтологию» и «масс-гносеологию», понимаемые как единая глобальная уникально-универсальная «цифровая антропология». В этих условиях первостепенную важность приобретают знания о человеке, его психике, физиологии, мышлении, сознании в целом, которые до недавнего времени не были исследованы математическими, цифрово-технологическими способами, где ИТ-«память» (способы хранения информации) была бы «центром» организации общих трактовок. В этих условиях понимания сущности мыслящих и активно взаимодействующих между собой индивидов их совместное про-и-выживание становится ключевой проблемой научных технологий, первостепенной задачей социальных институтов. Актуализируется необходимость достижения со стороны общественного управления целенаправленного успешного диалога во всех направлениях общественной обустроенности, эффективной динамики целостной, но разноприродной среды массовых информационных потоков, коммуникаций определенных носителей (сообществ, групп, этносов, народов, личностей, индивидов «классов» и пр.), сконцентрированных на основе общей «IP-платформе».

Традиционная антропологическая мысль имела границы, внутри которых создавалось три объединенных содержания системы «Философия - Религия – Искусство». Наука непримиримо противопоставлялась теологическому опыту (знанию), поэтому эпистемология представлялась как оппозиционная деятельная сфера по отношению к вышеназванной. Из-за данной дилеммы «Наука – Религия», «Наука – иное» (повседневное, иллюзорное, мифологическое) философам приходилось для ее внутренней взаимосвязи привлекать дополнительные гипотетико-индуктивные формы анализа, извлеченные из непосредственного гносеологического «анамнеза» социума, личности, группы как их самостоятельных общественных представительств. Современная антропология располагает иными радикальными методологиями в сравнении с прошлыми. Инновационное содержание конституировано демократией тождества всех возможных «социумных вариантов», основанных на фундаментальных ИТ-и-IP-реалиях универсальных «stack-режимов». Так достигается возможное единение назревших обстоятельств объединения сфер «Философия-Наука-Религия» как целостный поток непротиворечивого общественно-исторического знания, интеллектуального содержания в режиме времени «Здесь-и-Сейчас». Специфику и связь науки (эпистемологии) в эпоху Нового времени демонстрируют идеи Р. Декарта, Ф. Бэкона. Карл Поппер по этому поводу писал: «Оптимистическая эпистемология Декарта опирается на важную теорию о *veracitas dei* – правдивости Бога. То, что мы ясно видим как истину, действительно должно быть истиной, иначе Бог обманывал бы нас. Таким

образом, правдивость Бога делает истину очевидной. У Бэкона мы находим похожее учение.». [4; 21]. Связь философии, теологии, психологии, психиатрии суть научные подходы в виде общего метода описания современной социально-антропологического «профиля» использует современный мыслитель гуманитарных наук Рене Жирар [3].

Инновационный и традиционный компоненты современного «антропологической геометрии» сформулированы общим универсальным понятием (концептом) «культура».

Какие можно выделить «стромальные» (имманентно удерживающие другие) характеристики, показатели уникальной, становящейся при непрерывном историческом движении – универсальной философской истиной человека цифровых авиакосмических направлений, преобразований? Подобная цивилизация характеризуется ризомностью: непредсказуемостью, внезапностью переменных планов, целей, задач каких-либо внезапно выявленных качественно-количественными опытными сторонами в сферах образования (подготовка специалистов), производства (изготовления авиапродукции), авианавигации, авиалогистики, торговли, культурного взаимодействия всех участников универсальной и уникальной авиакосмической политики и экономики. В этих условиях вышеперечисленные искусственные социальные способы приобретают устойчивые, но одновременно (диалектика) мобильные адекватные резким изменениям директные векторы, отмеченные как перспективные, инновационные.

Другими важными характеристиками цифровой антропологической современности является имманентный характер общего научного «блокчейна» внутренней связи философии, теологии, психологии, психиатрии, их единых духовно-практических информационных каналов социального человека, которые формируют базовые структуры мировоззрения и на его основе образ жизни современного человека, социума. В подобном интеллектуально-жизненном синкретическом контенте возводится культурологическая обструкция, не позволяющая в прежнем «режиме» воспроизводить классические версии, акцентирующие самостоятельность, методологическую изолированность, независимость друг от друга вышеотмеченных структур непосредственного существования индивидов. Вышеотмеченные способы, характеристики, показатели, эталоны общих социально-исторических технологий, потребностей, установок масс цифровой повседневности активно формируют человека особого типа и аналогичные ему искусственные, эффектные (иногда не связанные с действительностью), поэтому специально созданные массовые мифы, иллюзии, заблуждения, «идолы сознания» и прочие неистинные показатели состояния мыслей создают крайне венчурные обстоятельства непредвиденных изменений, результатов происходящего существования. Возникает глобальный вопрос: каким образом подобная практика человечества коррелирует с нравственными, этическими установками всегда

Здесь-имеющегося антропологического «стержня»? Как отзовется на происходящее «То, что смотрит на нас» (Диди-Юберман Ж.), «Бытие – сущее в своей основе» (Хайдеггер М.)? [2,3,4].

Возможно, универсальная концептуальная идея Р. Жирара [3] о спасении человека (человечества) «в самый последний момент» станет ключевым тезисом современной мировой истории, мирового общежития, активно создающих платформу единой взаимообусловленной культуры. Ведь были же демонстрации подобных форм спасения как частные примеры, извлеченные из истории авиакосмической практики. События ближайшего времени: 15. 08. 2019 г. аварийная посадка А321 (пилоты Д. Юсупов, Г. Мурзин), «жесткая» посадка самолета «Боинг 737» в г. Усинске (Республика Коми 9 февраля 2020 г). Авиаэксперт в СМИ прокомментировал: «...при такой посадке была высокая вероятность взрыва». Или легендарное спасение космонавтов «Восход-2» П. И. Беляева и А. А. Леонова. Примеров достаточно. Следует, однако, подчеркнуть, что подобные факты основаны не только на «стыке» случайных обстоятельств, общечеловеческом патриотическом мировоззрении, но и – высоком профессионализме личностей, которые продемонстрировали примеры героического спасения не только собственной жизни, но и других людей, судьба которых в данный критический момент зависела от этих личностей. Таким образом, «человеческий фактор» в условиях современной цивилизации определен как ведущий в природе любых форм массового явления человечества.

Что касается производства и технологий современного строения авиакосмической направленности, то следует отметить, что наряду с прежними предприятиями по выпуску продукции, техники, поставленной на заводской, серийно-поточный способ, имеющееся множество отдельных уникальных производств, взаимодействуя между собой «кластерно» на основе договорных отношений. Все вместе формируют единую (универсальную) область, в центре которой находятся критерии эффективности и качества выпускаемой продукции, на основе таких методов и технологий организуются уникальные производственные секторы «корпоративно» или дополнительным образом связанные с крупными производственно-экономическими базами, предприятиями, образуя общее ведущее производственно-научно-тематическое направление (производственную сферу экономики общества). Здесь личностный фактор может проявиться и в конструкторско-производственном секторе современных авиакосмических технологий или в каких-либо иных, но привязанных к первому. В данном случае общечеловеческие антропологические принципы суть одновременно уникальные и универсальные в цивилизационных масштабах, показывающих степень социального единства государственного и геополитического уровней.

Библиографический список

1. Гегель Г.В.Ф. Лекции по эстетике. Том 2. – С-Пб: Наука, 2001. – 602 с.
2. Диди-Юберман Ж. То, что мы видим, то, что смотрит на нас. – С-Пб: 2001. – 524 с.
3. Жирар Р. Вещи, сокрытые от создания мира. – М.: Изд-во ББИ, 2016. – 518с
4. Поппер К. Предположения и опровержения. – М.: Изд-во АСТ, 2008. – 638с.
4. Хайдеггер М. Парменид. – С-Пб.: Изд-во «Владимир Даль», 2009. – 383с.

УДК 629.735.067 (07)

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ЗАДАЧАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Махитько В. П.¹, Алякина Е. С.²

1 – доктор технических наук, профессор, зав. каф. Управления и экономики на воздушном транспорте Ульяновского высшего авиационного училища гражданской авиации (институт) им. Главного маршала авиации Б.П.Бугаева, г. Ульяновск

2 – аспирант, ведущий специалист по кадрам высшего авиационного училища гражданской авиации (институт) им. Главного маршала авиации Б.П.Бугаева, г. Ульяновск

Аннотация. Предложен системный подход в задачах обеспечения безопасности полетов при организации воздушных перевозок в аэропорту. Рассмотрены вопросы интеграции функций и процессов в аэропортовой деятельности для построения системы управления безопасностью полетов.

Ключевые слова: интегрированная система управления аэропортом, воздушные суда, цикл безопасности, опасный фактор, наземные службы.

A SYSTEMATIC APPROACH TO ENSURING FLIGHT SAFETY IN THE ORGANIZATION AIR TRANSPORTATION

Machitko V. P.¹, Alyakina E. S.²

1 – doctor of technical Sciences, Professor, head. CFR. Management and Economics in air transport of the Ulyanovsk higher aviation school of civil aviation (Institute). Chief Marshal of aviation B. P. Bugaev, Ulyanovsk

2 – post-graduate student, leading specialist in personnel of the higher aviation school of civil aviation (Institute). Chief Marshal of aviation B. P. Bugaev, Ulyanovsk

Abstract. A systematic approach to the problems of flight safety in the organization of air transport at the airport is proposed. The issues of integration of functions and processes in airport operations for building a safety management system are considered.

Keywords: integrated airport management system, aircraft, safety cycle, hazard factor, ground services.

Для эффективного управления безопасностью полетов в аэропортовой деятельности необходим системный подход к разработке политики, организации технологических процессов и практики обслуживания воздушных перевозок, позволяющих аэропортам обеспечить условия безопасности полетов. В соответствии с управленческими функциями производства полетов, управление безопасностью полетов требует планирование, проведения организационных мероприятий, обеспечения взаимодействия со всеми подразделениями аэропорта. Управление безопасностью объединяет различные виды аэропортовой деятельности в единое целое. Для оценки и подтверждения соответствия и эффективности практических мер, предпринимаемых аэропортом в этой области, требуется

контроль за полученными результатами, что замыкает цикл процесса обеспечения безопасности полетов [1]. Единой модели СУБП, которая подходила бы для "всех случаев", не существует. Выбор структуры, которая в наибольшей степени подходит для того или иного аэропорта и его специфических условий, будет зависеть от размера, степени сложности и типа производственной деятельности, а также от корпоративной культуры безопасности и эксплуатационной среды [1].

Применение системного подхода поможет обеспечить наличие элементов, необходимых для построения эффективной системы управления аэропортом. Поэтому целесообразно рассмотреть основные этапы интеграции различных элементов аэропортовой деятельности в единую систему управления безопасностью полетов (СУБП). Инспекция по безопасности полетов и подразделения аэропорта при внедрении основ СУБП согласно требованиям ИКАО, может использовать в качестве основы существующие ресурсы путем оценки текущих возможностей рассматриваемого аэропорта в сфере управления безопасностью (включая опыт, знания, процессы, процедуры, ресурсы и т. д.). Таким образом, произойдет интеграция системы управления аэропортом, а СУБП будет являться ключевой подсистемой в среде интегрированной системы управления аэропортом.

При организации наземных служб обслуживающих воздушные суда определялись внутренние процедуры взаимодействия подразделений для расследования инцидентов, выявления опасных причин, мониторинга показателей безопасности и т. д. Инспектор по безопасности полетов аэропорта способен их проанализировать и модифицировать для оценки в СУБП. Разработка системы СУБП на такой базе опыта будет связана с меньшим нарушением производственного процесса.

В службе по наземному обслуживанию аэродромно-технического комплекса (АТК), центра наземного обслуживания (ЦНО), центра оперативного управления (ЦОУ), служба по авиационной безопасности и режиму (АБиР) при составлении функций и задач подразделений необходимо определять показатели безопасности полетов и устанавливать целевые уровни безопасности для каждой службы. Эти показатели и заданные уровни должны соответствовать размерам, сложности организационной структуры, типам операций, ресурсной базе службы.

Независимо от размера, сложности структуры или типа операций успешное функционирование СУБП зависит от того, в какой мере высшее руководство уделяет необходимое время, внимание и предоставляет требуемые средства для целей безопасности как главной управленческой задачи. Политика и задачи в области безопасности определяют, к чему стремится аэропорт и каким образом он намерен этого добиться. Приверженность аппарата управления вопросам обеспечения безопасности полетов демонстрируются всему, персоналу посредством провозглашенных целей и политики аэропорта в области безопасности полетов [2].

Функции обеспечения безопасности распределены по всему аэропорту, а также и на другие сторонние организации, выполняющие аэропортовые или иные виды деятельности на территории аэропорта. При этом инспекция по безопасности полетов координирует свои действия с руководителями служб, оказывая им помощь в выполнении своих функций по управлению безопасностью. Предприятия аэропорта, осуществляющие иные виды деятельности, влияющие на обеспечение жизнедеятельности аэропорта, при решении оперативных вопросов работают согласно отраслевым нормативным документам, не противоречащим требованиям Воздушного Кодекса РФ, нормативным документам Росавиации, а при отсутствии таковых согласовывают свои действия с ЦОУ. Все операторы служб и предприятий, участвующих в производственном процессе, должны осуществлять оперативное взаимодействие в вопросах обеспечения безопасности полетов и авиационной безопасности, выполнения технологий работ, качественного обслуживания ВС, пассажиров, клиентов, исключая задержки рейсов.

Наличие персонала, имеющего надлежащую квалификацию для выполнения возложенных на него служебных обязанностей, является главным условием обеспечения безопасности полетов. Требования к квалификации и их свидетельств закреплены в положениях должностных инструкций, связанных с обеспечением безопасности полетов. Все линейные руководители должны нести ответственность за поддержание надлежащего уровня квалификации персонала, занимающего должности, связанные с безопасностью полетов. Это касается и соблюдения требований в отношении какой-либо регулярной переподготовки. Все учебные программы предусматривают подготовку по тем аспектам СУБП и связанными с ними процедурами, которые относятся к соответствующей должности.

Для обеспечения эффективности программы управления безопасностью полетов в аэропорту важное значение имеет осуществление процессов контроля причин риска. Риск не всегда можно устранить, и не все возможные меры по управлению безопасностью полетов экономически осуществимы. Достижению такого баланса способствует контроль причин риска, начиная с выявления источников опасности. По своему характеру процесс выявления опасных факторов может быть ретроактивным или проактивным. Цикл безопасности представлен на рис.1 [3]. Контроль факторов риска включает три основных элемента: выявление опасных факторов, оценку риска и уменьшение риска. Такой контроль предусматривает проведение анализа и устранение (или, по крайней мере, снижения до приемлемого уровня) тех опасных факторов, которые угрожают жизнеспособности аэропорта.

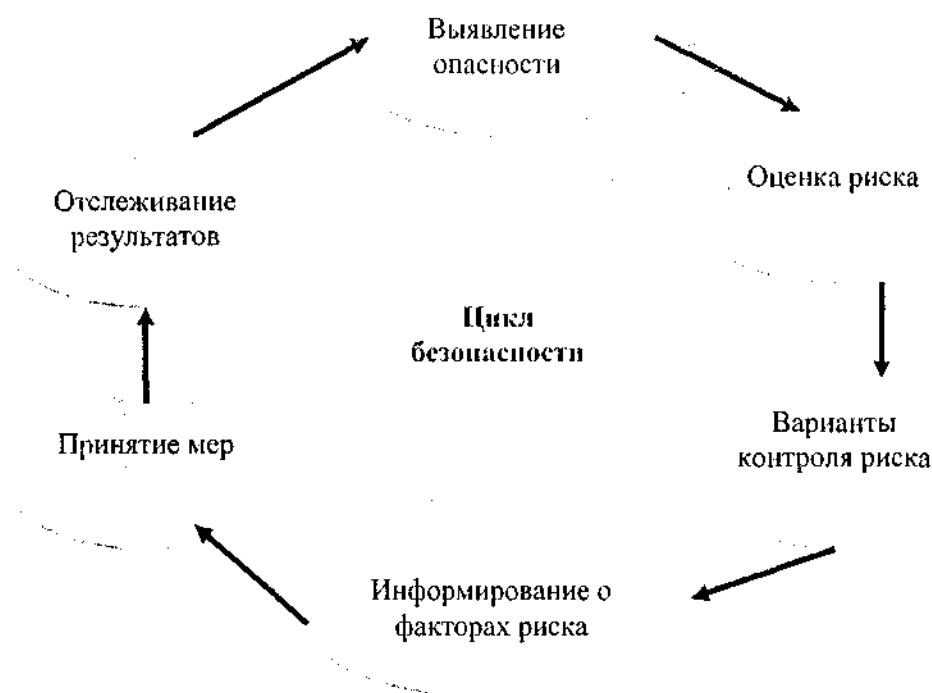


Рис. 1. Цикл безопасности согласно требованиям ИКАО

Контроль факторов риска позволяет сосредоточить усилия в области обеспечения безопасности полетов на источниках опасности, представляющих наибольший риск. Все выявленные опасные факторы подвергаются критической оценке и ранжируются по степени потенциального риска. Они могут быть оценены субъективно опытным персоналом, либо с помощью более формальных методов, зачастую требующих проведения аналитической экспертизы. Следует учитывать такие факторы, как вероятность события и степень тяжести последствий, если оно произойдет. Благодаря такому процессу оценки риска можно сделать вывод о том, устраняются или контролируются ли факторы риска надлежащим образом. Если уровень риска приемлемый, то операции могут продолжаться. Если уровень риска неприемлемый, то необходимо принять меры по усилению средств защиты, с тем чтобы устранить или предотвратить данный опасный фактор [4].

Расследование опасных событий часто показывает, что им предшествовал целый ряд предупреждающих признаков или предвестников. В результате расследования инцидентов можно выявить предупреждающие признаки, что позволит распознать аналогичные признаки в будущем, прежде чем они приведут к опасным событиям. Без системной методологии представляется весьма затруднительным свести воедино и проанализировать всю полученную в процессе таких расследований информацию, с тем чтобы эффективно оценить существующие факторы риска и рекомендовать какие-либо действия, необходимые для повышения уровня безопасности.

Поддержание уровня осведомленности персонала о текущих проблемах безопасности посредством соответствующей подготовки, литературы по вопросам безопасности, участия в учебных курсах и семинарах по данной тематике и т.д. улучшает состояние безопасности в аэропорту. Обеспечение надлежащей подготовки всех сотрудников (независимо от их специализации) свидетельствует о намерении аппарата управления создать действенную систему СУБП. Новым служащим необходимо знать, что от них требуется, и как функционирует система СУБП данного аэропорта.

В целях создания системы управления безопасностью полетов в аэропорту принят, как правило, строгий подход к ведению документации и обработке информации. Для создания надежной основы для СУБП необходима соответствующая официальная документация, уточняющая взаимосвязь между управлением безопасностью полетов и другими функциями аэропорта, механизм интегрирования мер по управлению безопасностью полетов с указанными функциями, а также характер связи этих мер с политикой аэропорта в области обеспечения безопасности полетов. Как правило, такая информация оформляется в документации служб аэропорта, политика и цели в области БП, руководств по БП, стандартов аэропорта, картах технологических процессов, технологических инструкциях и т.д.). В случае расследования государственным органом какого-либо происшествия или серьезного инцидента может также потребоваться зарегистрированная информация о мерах, принятых для целей контроля риска и поддержания надлежащих уровней безопасности полетов [5].

Для оценки БП и выявления ее зависимости от свойств АТС используются статистические (абсолютные, относительные) и вероятностные критерии (аналитические, вероятностные модели, экономико-вероятностные). Цель качественной оценки БП – выявление потенциально опасных групп неблагоприятных факторов для подсистем ИСУ аэропортом, причин их возникновения и возможных последствий. Применение критериев количественной оценки БП основывается на развитии методов математической статистики и теории вероятностей.

Системный подход к управлению безопасностью полетов предусматривает «замкнутый цикл». Для оценки того, насколько эффективно работают основные этапы, необходима обратная связь. Это достигается посредством осуществления надзора за обеспечением безопасности полетов и контролирования показателей безопасности наземных служб аэропорта. Надзор за безопасностью полетов должны осуществляться путем проведения инспекций, обследований и проверок. Выполняет ли персонал то, что от него требуется? В аэропорту проверки состояния безопасности полетов должны проводиться на регулярной основе как метод обеспечения надзора за повседневными операциями. Проверки состояния безопасности позволят персоналу и администрации убедиться в том, что деятельность аэропорта осуществляется в соответствии с требованиями безопасности.

Контроль за показателями безопасности полетов подтверждает эффективность СУБП, позволяя убедиться не только в том, что персонал выполняет возложенные на него задачи, но и что коллективные усилия обеспечивают достижение целей аэропорта в области безопасности полетов при работе наземных служб аэропорта. Посредством регулярного проведения анализа и оценки администрация должна постоянно совершенствовать управление безопасностью полетов и поддерживать эффективность и актуальность СУБП в деятельности аэропорта. Во всех эксплуатационных областях аэропорта (включая деятельность сторонних организаций, осуществляющих аэропортовую деятельность на территории аэропорта) должны регулярно проводится проверки состояния безопасности.

Надзор за безопасностью полетов должен включать систематический анализ всей имеющейся информации, например, данные оценок состояния безопасности, результаты программы обеспечения качества, результаты анализов тенденций в области безопасности полетов, результаты обследований в этой сфере и данные проверок состояния безопасности полетов. Полученные выводы должны доводиться до сведения персонала с целью проведения необходимых реформ, направленных на укрепление данной системы [5].

Библиографический список

1. Человеческий фактор в условиях перехода авиакомпании к управлению безопасностью полетов / Тезисы докладов научно-практической конференции 30 – 31.10.07 г. (под ред. В. В. Корюва). – Москва : Шереметьево, 2007 г. (ОАО «Аэрофлот-российские авиакомпании»). – 79 с.
2. Канарчук В. Е., Чигринец А. Д., Ленчевский В. Н. Средства обслуживания авиоперевозок. Справочник. – Киев : Изд-во «Техника», 1987. – 138 с.
3. Зубков Б.В. Безопасность полетов: учебник (под ред Б. В. Зубкова) – Ульяновск : УВАУ ГА (И), 2013. – 451 с.
4. Новожилов Г. В., Неймарк М. С., Цесарский Л. Г. Безопасность полета самолета: Концепция и технология. – М.: Изд-во МАИ, 2007. – 196 с.
5. Руководство по управлению безопасностью полетов DOC 9859 AN/460. Издание первое, М.: ИКАО, 2009. – 364с.

УДК 658.512

**ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ****Махитко В.П.¹, Чекаев Ю.Ю.²**

1 – доктор технических наук, профессор, зав. каф. Управления и экономики на воздушном транспорте Ульяновского высшего авиационного училища гражданской авиации (институт) им. Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, г. Ульяновск

2 – аспирант, инженер-конструктор АО «Авиастар», г. Ульяновск

Аннотация. Предложена цифровая трансформация технологической подготовки производства изделий на предприятии, которая используя методы объектно-ориентированного проектирования, радикально изменяет процессы технологического проектирования.

Ключевые слова: Интеграция, технологичность, гетерогенные сети, жизненный цикл изделий, программно-технические средства, моделирование.

**DIGITAL TRANSFORMATION OF TECHNOLOGY
PREPARATION OF PRODUCTION OF PRODUCTS AT THE
ENTERPRISE****Machitko V. P.¹, Chikaev Y. Y.²**

1 – doctor of technical Sciences, Professor, head. CFR. Management and Economics in air transport of the Ulyanovsk higher aviation school of civil aviation (Institute) named after Chief Marshal of aviation B. P. Bugaev, Ulyanovsk

2 – post-graduate student, design engineer of «Aviastar JSC», Ulyanovsk

Annotation. A digital transformation of the technological preparation of production of products at the enterprise is proposed, which, using the methods of object-oriented design, radically changes the processes of technological design.

Keywords: Integration, manufacturability, heterogeneous networks, product lifecycle, software and hardware, modeling.

В настоящее время продолжительность и стоимость технологического проектирования сложных наукоемких изделий, плата за ошибочные решения, а также дефицит квалифицированных разработчиков, владеющих всем арсеналом методов и средств технологического обеспечения, необходимых для разработки высокоэффективных изделий, возрастают. Практика показывает, что знаний, умения и навыков отдельных конструкторов и технологов недостаточно для успешного проектирования сложных изделий. Необходим механизм, который накапливает, хранит и предоставляет для использования проверенные на практике и специально подготовленные комплексы знаний по конструкторско-технологическому проектированию сложных изделий, подготовке и организации их производства.

Комплексное решение задач, связанных с проектированием и производством таких изделий следует осуществлять в рамках постоянно совершенствуемых интегрированных автоматизированных систем,

использующих единые методы и средства для решения всех задач конструкторской и технологической подготовки производства на основе применения современных цифровых технологий, предоставляющих возможность радикального изменения процессов проектирования, производства изделий. Учет структуры проектируемых изделий и методов проектирования приводит к использованию методов объектно-ориентированного проектирования. На существующем уровне становления цифровых технологий пока еще окончательно не сложились представления и понятия этой специфической технологической области. Наиболее часто применяемые в этой области термины большей частью заимствованы из смежных областей: вычислительной техники, программирования, системного анализа. Для целостного и взаимосвязанного подхода к цифровым технологиям должна быть обеспечена оцифровка производственной среды, в том числе, технологических процессов, оборудования, деталей, оснастки и т.д., проведена классификации объектов, процессов и инструментальных систем и разработана специфическая нормативная база.

В настоящей статье рассматривается этап технологического проектирования, использующий инструментарий цифровой трансформации проектирования, при котором с помощью программных средств формируется цифровая модель технологических процессов изготовления номенклатуры деталей изделия. Специального внимания заслуживает состав объектов цифровой трансформации. Для них характерны такие признаки, как форма представления, структура, другие специфические характеристики. При выделении объектов цифровой трансформации может выполняться упрощенное разделение, которое будет отличать текстовый документ от графического, или введен новый тип – смешанных документов, представляющих класс электронной интерактивной документации.

Основными требованиями, предъявляемым к цифровой трансформации, являются:

1. Комплексность технологических решений, которая обеспечивается только интегрированными системами. Совершенствование программно-технических средств позволяет переходить к выбору новых стратегий в решении практических задач. Такое состояние проблемы способствует объединению отдельных инструментальных средств в технологические комплексы, ориентированные на сложные технические изделия.

2. Параллельность принятия решений и выполнения работ обеспечиваются, прежде всего, сетевыми цифровыми технологиями в среде не только локальных, но и гетерогенных, и глобальных сетей, создающих условия удаленного доступа к информации и дистанционного выполнения работ. Это требует также перехода к новым моделям вычислений.

3. Функциональная интеграция цифровых и материальных технологий обеспечивается по двум различным направлениям: взаимному дополнению физических и вычислительных экспериментов или по объединению вычислительно-управляющих и исполнительных систем. Взаимосвязь

цифровых и материальных потоков необходима для постоянного поддержания адекватности цифровых моделей.

При традиционном информационном и методическом обеспечении устойчиво сложилось и подкреплено соответствующими документами распределение задач между участниками процессов проектирования и производства изделий. Определена последовательность решения задач, разработаны инженерные методики, сложились формы представления результатов проектирования.

Для комплексного параллельного проектирования из установившегося при традиционном (последовательном) проектировании должно измениться следующее:

- распределение функций и решаемых задач между проектировщиками;
- состав и содержание документов с результатами проектирования;
- инженерные методики решения задач;
- состав программно-методических средств;
- электронный интерактивный документооборот со специфическим нормативным обеспечением.

Реализация концепции двух уровней программно-технических комплексов с использованием CAD/CAM/CAE-систем разного класса с информационным обменом между ними актуальна для наукоемкого и высокотехнологичного производства и позволяет создать достаточное количество рабочих мест. Системы верхнего уровня, реализованные на рабочих станциях, способны обеспечить решение всего комплекса проблем проектирования, конструирования, анализа и технологической подготовки производства (ТПП) при разработке новых образцов сложных изделий. Стоимость таких рабочих станций колеблется от 30 до 100 тыс. дол. США. Существует ряд задач, например, компоновка сложных узлов или динамическое проектирование технологических процессов литья, штамповки или сборки, где без этих систем обойтись трудно. Однако, если проанализировать весь цикл разработки, изготовления и эксплуатации изделия, то процент этих задач достаточно невысок. Для разных отраслей промышленности он колеблется от 10 до 30%. Для решения остальных задач весьма эффективно могут использоваться системы нижнего уровня, реализуемые на персональных ЭВМ с соответствующим программным обеспечением.

Создание технологий автоматизированного конструирования и ТПП подразумевает наличие подготовленного инженерно-технического персонала. При существующем уровне вузовской подготовки инженеров и технологов в области информационных технологий освоение сложных CAD/CAM/CAE-систем верхнего уровня предприятиями связано с большими временными и денежными затратами. Поэтому основная задача предприятий в области информационных технологий состоит в том, чтобы поднять цифровую культуру инженерно-технического и управленческого персонала с помощью более доступных и дешевых отечественных систем и тем самым

обеспечить необратимость использования цифровых технологий в основной деятельности предприятий.

Технологическое проектирование – способ проектирования, обеспечивающий в процессе создания нового изделия органическую связь конструирования с технологией, за счет чего свойства конструкции, определяющие ее технологичность, закладываются в процессе проектирования. Обязательной составной частью этого комплекса мероприятий технологического проектирования является повышение технологичности конструкции изделия [1].

Технологичность – важнейшая характеристика совершенства изделия, в значительной мере определяющая уровень его технико-экономических показателей. Повышение технологичности конструкции позволяет существенно снизить материальные и трудовые затраты при производстве, эксплуатации, ремонте изделия и потому является одной из важнейших задач, решаемых в процессе его создания.

В соответствии с ГОСТ 18831-7 «технологичность конструкции изделия – совокупность свойств конструкции изделия, проявляемых в возможности оптимальных затрат труда, средств, материалов и времени при технической подготовке производства эксплуатации и ремонте по сравнению с соответствующими показателями однотипных конструкций изделий того же назначения при обеспечении установленных значений показателей качества и принятых условиях изготовления, эксплуатации и ремонта».

Технологическое проектирование устанавливает, что свойства конструкции, обуславливающие ее технологичность, определяются не в порядке последующих исправлений, в отличие от «отработки на технологичность», а в самом процессе принятия конструкторских решений и вносятся в конструкцию на ранних стадиях конструирования.

Практика «традиционного» технологического проектирования может служить основой для создания цифрового прикладного инструментария проектировщика. Цифровое технологическое проектирование обеспечивается созданием экспертной системы, выполняющей сквозную экономическую оценку эффективности принимаемых технологических решений. Возможности цифровой трансформации технологии позволяют выполнять такую интегральную экономическую оценку влияния локальных технологических решений и выдавать ее конструкторам в режиме реального времени.

Цифровая трансформация технологического проектирования отличается от традиционного технологического проектирования, прежде всего, наличием экспертной системы. В основу такой экспертной системы закладываются существующие методики технологического проектирования, модернизированные в соответствии с изменениями в экономических критериях, и предельно формализованные в отношении оценивания принятых решений. Параметризация цифровой трансформации проектирования сложных конструкций позволяет выполнять оценки

конструкторских решений на основании их реализации в графических изображениях. Цифровая трансформация технологического проектирования аккумулирует весь конструкторско-технологический опыт практических решений, принятых как самим производителем, так и решений, определяемых нормативно-технической базой всей отрасли.

В методические основы цифровой трансформации технологического проектирования необходимо заложить основные изменения, связанные с ревизией подходов к приоритетности показателей технологичности, модернизации нормативно-технического базиса проектирования сложных конструкций, способного создавать новые современные наукоемкие изделия.

Цифровая трансформация технологического проектирования ориентировано на использование практически всех компонентов системы непрерывной информационной поддержки жизненного цикла изделий. Конструктор, работая в системе компьютерного конструирования (CAD), обращается к инструментарию цифровой трансформации технологического проектирования при выборе эффективных конструкторско-технологических решений и при сквозной оценке экономических результатов этих решений.

Цифровое обеспечение инженерных расчетов (CAE) использует инструментарий цифровой трансформации технологического проектирования для формулирования исходных данных при моделировании технологических процессов. Средства обеспечения виртуальной реальности (VR) процессов жизненного цикла изделий имеют возможность моделировать агрегаты, узлы и детали, соответствующие реальным технологиям их изготовления.

Внедрение цифровой трансформации технологий в производство базируется на использовании цифровых моделей изделия, на базе которых строятся математические модели технологических процессов. На сегодняшний день существуют развитые программные инструментальные средства геометрического моделирования изделий, их инженерного анализа и технологической подготовки производства, включая проектирование различных технологических процессов. Например, с помощью интегрированной системы верхнего уровня Unigraphics NX возможно твердотельное моделирование деталей и сборок различного уровня сложности, как по геометрической форме поверхностей, так и по структуре многокомпонентных сборок. Твердотельные модели сборок являются универсальными моделями позволяющими решать множество конструкторских и технологических задач (пространственная увязка компонентов изделия с контролем коллизий, расчет массово-инерционных и объемных характеристик изделия, визуализация и др.). Однако, для решения ряда задач инженерного анализа и ТПП твердотельная модель должна быть преобразована в дискретную, как правило, точечную модель, которая позволяет применять методы вычислительной математики для её исследования и управления, например, дискретные конечно-элементные

модели для решения задач инженерного анализа, управляющие программы для станков с ЧПУ.

Библиографический список

1. Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса / Под общ. ред. А. Г. Братухина. – К.: Техніка, 2001. – 728 с.

УДК 338.45

ИННОВАЦИОННАЯ ТОВАРНАЯ СТРАТЕГИЯ АВИАСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Мухаметзянов К. М.

аспирант Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», филиал в г. Сызрань

Аннотация. В статье рассматриваются тенденции современного отечественного авиастроения. Указывается на ограниченность использования маркетинговых инструментов авиастроительными предприятиями. Приведена классификация товарных стратегий авиапредприятий. Обосновывается, что задачи инновационного развития предприятий требуют и инновационных товарных стратегий.

Ключевые слова: авиастроение, инновации, стратегическое управление, товарная стратегия, эффективность.

INNOVATIVE PRODUCT STRATEGY OF AIRCRAFT MANUFACTURING ENTERPRISE

Mukhametzyanov K. M.

*Military air force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin, Syzran;
Postgraduate student. E-mail: inna-reg73@mail.ru*

Abstract. The article discusses the trends of modern domestic aircraft industry. It is pointed out that the use of marketing tools by aircraft manufacturers is limited. The classification of commodity strategies of airlines is given. It is proved that the tasks of innovative development of enterprises require innovative product strategies.

Keywords: aircraft industry, innovations, strategic management, commodity strategy, efficiency.

Движущим стимулом любого рынка являются инновации в товарной политике. С помощью товара, имеющего рыночную новизну, предприятие может обойти конкурентов, сформировать новый рынок, увеличить свои доходы.

Отечественные авиастроительные предприятия работают в условиях санкционных ограничений. Тем не менее, осуществляется разработка новых моделей гражданской и военной авиатехники. Вышел в серийное производство Sukhoi Superjet 100, который после первых полётов в 2008 г. претерпел ряд доработок [2]. Дальнемагистральный широкофюзеляжный самолёт Ил-96-300, доказавший свою надёжность с 80-х годов, производится в модифицированных версиях Ил-96-400М с увеличенным размахом крыла и удлинённым фюзеляжем и Ил-114-300. Несмотря на прекращение зарубежных поставок композитных материалов, завершается разработка среднемагистрального МС-21. Специалисты считают его конкурентоспособным относительно Boeing и Airbus. Тестовые испытания

проходят модели МС-21-200 и МС-21-300, проектируется МС-21-400 вместимостью до 250 мест. В планах Объединенной авиастроительной корпорации выйти к 2025 г. на выпуск 120-140 гражданских самолетов в год. Совместно с Китайской корпорацией гражданского авиастроения разрабатывается *широкофюзеляжный* дальнемагистральный самолет нового поколения CRJ929, его первый полёт запланирован на 2023 г.

Авиастроительные предприятия являются примером активной реализации инновационных стратегий. Цель данной статьи – на примере авиастроительной отрасли проанализировать опыт инновационного стратегического планирования и факторы, обуславливающие эффективность инновационных товарных стратегий.

Кроме конкурентной борьбы на рынке авиапредприятий, их деятельность находится под прессингом политической борьбы государств. Это требует правильного выбора долгосрочной стратегии. Одной из наиболее эффективных здесь может стать стратегия дифференциации, которая базируется на том, что предлагаемые товары или услуги существенно отличаются от предложений основных конкурентов по некоторым наиболее значимым для потребителя аспектам.

В авиастроении это неизбежно предполагает инновационной товарной политики, когда задача предприятия – наполнить товарную номенклатуру производства таким конкретным содержанием (соответствующим товарным ассортиментом), который будет постоянно пользоваться на рынке повышенным спросом, обеспечит загрузку производства и выживаемость бизнес-системы в долгосрочной перспективе [1, с. 58]. При этом предприятия создают постоянно действующую систему маркетингового контроля за соответствием товарного ассортимента требованиям рынка с учетом жизненного цикла отдельных товаров, их рейтинга и временной привязки к ресурсным возможностям производства.

Существуют два типа инноваций: прорывные и последовательные. Прорывные инновации отличаются тем, что они резко меняют предпочтения и поведение потребителей. Последовательные инновации сопровождаются улучшением качества производимых товаров или оказываемых услуг, но заметного изменения поведения потребителей не происходит. Потребителями авиапредприятий являются авиакомпании, спрос которых предсказуем, а потребительские запросы хорошо прогнозируются. Кроме того, в данной отрасли производство традиционно имеет поддержку государства, поскольку связано с межгосударственными отношениями. Поэтому инновации авиастроителей редко бывают прорывные, следуют в русле последовательного развития отрасли и совершенствования моделей на базе научных разработок и многоуровневого взаимодействия предприятий в рамках кластеров [5, с.82].

На уровне предприятия в целом формируется общая стратегия, которая отражает общую стратегическую линию развития и комбинацию возможных его направлений с учетом имеющихся рыночных условий и возможностей

фирмы. На ней основываются планы и программы маркетинговой деятельности. Товарная стратегия основана на сегментации, дифференциации и позиционировании. Маркетинг авиастроительных предприятий имеет специфику, обусловленную особенностями данного рынка и значительной зависимостью от государственной политики и поддержки. Ограниченность маркетинговой деятельности в авиастроении хорошо иллюстрируется на примере товарной политики: товарный портфель авиастроительного предприятия узко специализированный, а инновационные разработки требуют значительных инвестиций и государственных гарантий.

Маркетинговые принципы ценообразования в авиастроении могут вступать в противоречие с методиками государственных заказов, устанавливающих бюджетные лимиты цен на продукцию. Ценообразование оборонных заказов регламентировано государственными нормативами: на себестоимость продукции начисляется прибыль в 20%, а на стоимость комплектующих и материалов, закупаемых у внешних поставщиков, – только 1% прибыли.

На рынке авиастроения поставки зависят, не только от экономической конъюнктуры, но и от политических факторов: заказы предприятий связаны с международными альянсами, правительственными соглашениями. Государственная поддержка сбыта воздушных судов и авиатехники проявляется в виде экспортных гарантий и поручительств, субсидирования процентов при рассрочках платежей [4, с.56].

На уровне отдельных направлений деятельности или товарных подразделений они и предприятия разрабатывается стратегия развития данного направления, связанная с разработкой товарных предложений и распределением ресурсов по отдельным товарам. На уровне отдельных товаров формируются функциональные стратегии, основанные на определении целевого сегмента и позиционирования конкретного товара на рынке, с использованием различных маркетинговых средств (цена, коммуникации). Товарная стратегия авиастроительного предприятия направлена на поиск конкурентного преимущества на рынке и разработку такого товарного предложения, которое позволит реализовать это конкурентное преимущество.

На отечественном рынке можно видеть следующие типы инновационных товарных стратегий авиапредприятий:

1) наступательная – разработка высокотехнологичных инновационных продуктов на основе научных исследований; высокие риски и необходимость значительных долгосрочных инвестиций делают данную стратегию доступной только ограниченному числу крупных авиакорпораций;

2) оборонительная – авиапредприятие расширяет ассортимент, даже осваивает непрофильные виды деятельности, чтобы сохранить финансовую устойчивость;

3) стратегия модернизации (промежуточная между первыми двумя), требующая относительно небольших ресурсов предприятия;

4) поглощающая – на основе лицензирования используются инновационные разработки, выполненные другими предприятиями, что происходит в авиастроении после укрупнения отраслевого управления и создания Объединённой авиастроительной корпорации.

При разработке товарной политики значим учёт следующих факторов [3]:

- тенденции развития спроса и маркетинговой среды (общее состояние конъюнктуры, запросы потребителей, правовое регулирование, тенденции национальной экономики и т.д.);
- состояние и особенности конкурентной борьбы на рынке, стратегическое направление деятельности конкурентов;
- готовность рынка, потребителей к новым техническим разработкам авиапредприятия.

При производстве высокотехнологичной продукции есть риск отставания спроса от инновационной продукции. Рынок часто не готов к прорывным инновациям, что делает избыточным высокое качество нового изделия. Однако на авиастроительном рынке только в этом случае есть возможность опередить разработки конкурентов. Однако, это самая затратная из инновационных товарных стратегий.

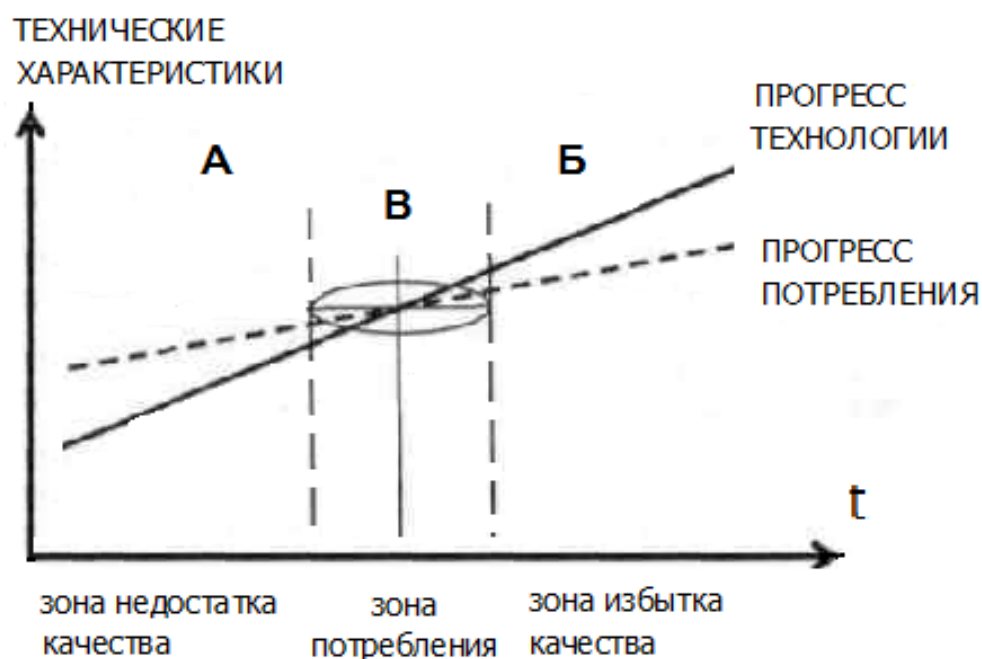


Рис.1 – Экономически обоснованный уровень инноваций изделия

Если качество не достаточно для потребителя, инновационная продукция не будет пользоваться спросом. Если же технические характеристики превышают потребительские запросы, это выводит предприятия в зону высокого экономического риска.

При создании добавленной ценности для потребителей следует подходить к выбору отличительных качеств инновационной техники не с позиций авиапредприятия, а исходя из рыночной конъюнктуры. Как известно, авиакомпании готовы эксплуатировать проверенную зарубежную технику, относительно доступную по цене.

Таким образом, стратегическое развитие авиастроительного предприятия основано на взвешенной товарной политике. Выбор инновационной товарной стратегий зависит не только ресурсов предприятия, но и от общей экономической ситуации в стране, от возможностей государственной поддержки данной отрасли.

Библиографический список

1. Артамонов Б.В. Стратегический менеджмент. Часть 2. Типовые стратегии и организационное проектирование. М. : МГТУ ГА, 2006. – 91 с.
2. Балашов, В. В. Оценка спроса на пассажирские авиаперевозки / В.В. Балашов, А.В. Смирнов // Мир транспорта. – 2013. – № 4. – С. 77–87.
3. Захарова И.В. Маркетинг. – Саратов: Ай Пи Ар Медиа, 2019. – 166 с.
4. Захарова И.В. Предложение и спрос на авиатехнику в Российской Федерации // Современные направления развития маркетинга и менеджмента. Сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2016. – 246 с. – С. 51-59.
5. Захарова И.В. Формирование авиационных кластеров в России как фактор модернизации отрасли // Innovative Economy: Processes, Strategies, Technologies: Scientific Conference. State University of Jan Kochanowski Department for Entrepreneurship and Innovation. – Kielce: Baltija Publishing, 2017. – 196 p. – Pp. 81-83.

СОДЕРЖАНИЕ

Приветственное слово		5
Секция 1 «ЗАГОТОВИТЕЛЬНО-ШТАМПОВОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО В МАШИНОСТРОЕНИИ»		
1	ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГНУТОГО ПРОФИЛЯ “ДОРОЖНЫЙ ОТБОЙНИК” И ОЦЕНКА УДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОГРАЖДЕНИЯ ПРИ НАЕЗДЕ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА Баранов А.С., Илюшкин М.В., Марковцев В.А. RESEARCH OF MANUFACTURING THE BENT PROFILE "ROAD FENCE" AND ASSESSMENT OF THE RETENTION OF THE ROAD FENCE WHEN HITTING A VEHICLE Baranov A.S., Ilyushkin M.V., Markovcev V.A.	7
2	О ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ Гульшин В.А., Кондратьев Е.Д., Филимонов В.И. ON PROFILED PARTS PRODUCTION FOR MODERN RADAR STATIONS Gulshin V.A., Kondratiev E.D., Filimonov V.I.	16
3	О СХЕМАХ ФОРМОВКИ ЗЕТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ С ШИРОКОЙ СТЕНКОЙ Гульшин В.А., Марковцева В.В., Филимонов С.В., Филимонов В.И. ON FORMING PATTERN FOR ZEE-TYPE PROFILES WITH LARGE WALLS Gulshin V.A., Markovtseva V.V., Filimonov S.V., Filimonov V.I.	21
4	ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА С ИЗНОСОСТОЙКИМ ПОКРЫТИЕМ НА ФОРМОИЗМЕНЯЮЩИХ ОПЕРАЦИЯХ Морозов О.И., Журавлев А.С. INCREASING THE STABILITY OF A STAMPING TOOL WITH A WEAR-RESISTANT COATING FOR FORMING OPERATIONS Morozov O.I., Zhuravlev A.S.	28

5	ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛИ ТИПА «ДНИЩЕ» Халикова А.А., Демьяненко Е.Г. RESEARCH OF THE PROCESS OF FORMING DETAILS OF TYPE "BOTTOM" Khalikova A.A., Demyanenko E.G.	33
6	ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ДЕТАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПРУГОГО И ЖЕСТКОГО ПРИЖИМА Щербов М.И., Нестеренко Е.С. INVESTIGATION OF THE PROCESS OF DRAWING CYLINDRICAL PART USING AN ELASTIC AND RIGID CLAMP Sherbov M.I., Nesterenko E.S.	38
Секция 2 «ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ И АВТОМАТИЗАЦИЯ»		
7	МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ НАГРУЖЕНИИ Астапов В.Ю., Джоздани М.С. MODELLING PROCESS OF FORMING SHEET PARTS BY PULSE SHOCK LOADING Astapov V.Yu., Jozdani M.S.	43
8	ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ Дударев А.С., Алексеутин А.С. MILLING PROBLEMS OF POLYMER COMPOSITES Dudarev A.S., Aleksutin A.S.	48
9	ПОДХОДЫ К ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЗАДАЧ ЯВНОЙ ДИНАМИКИ Илюшкин М.В. APPROACHES TO IDENTIFYING MATERIAL FAILURE PARAMETERS FOR EXPLICIT DYNAMICS PROBLEMS Ilyushkin M.V.	57
10	ЛОКАЛЬНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОФИЛИРОВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ Кондратьев Е.Д. LOCAL AUTOMATION OF ROLL-FORMING EQUIPMENT Kondratiev E.D.	63
11	РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕССА ПОПЕРЕЧНОЙ ОТБОРТОВКИ ОТВЕРСТИЙ ПРИ ФОРМОИЗМЕНЕНИИ	

	ПРОФИЛЯ В РОЛИКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ LS-DYNA Марковцев В.А. Халилов Ф.Х. DEVELOPMENT OF TRANSVERSE HOLES OPENING PROCESS TECHNOLOGY WHEN FORMING THE PROFILE IN ROLLERS USING THE LS-DYNA PROGRAM Markovtsev V.A., Khalilov F.H	68
12	РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ОБВОДООБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ Михеев В.А., Сурудин С.В., Разживин В.А., Роберто Де-Алваренга DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM OF PRODUCTION FOR THE CONTOUR -FORMING ELEMENTS OF AIRCRAFT Mikheev V.A., Surudin S.V., Razzhivin V.A., Roberto De-Alvarenga	76
13	СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ В ПРОЦЕССЕ ФОРМОВКИ В РОЛИКАХ И ПОДГОТОВКИ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА В ПРОГРАММЕ LS-DYNA Поворов С.В. COMPUTER-AIDED DESIGN OF SHEET BLANK CROSS SECTIONS DURING ROLL FORMING AND MODEL PREPARATION FOR CALCULATION IN THE LS-DYNA PROGRAM Povorov S.V.	87
14	ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТА КРОМКОВОЙ ВОЛНИСТОСТИ НА П-ПРОФИЛЕ Поворов С.В., Волгин Д.С. INVESTIGATION OF THE P-PROFILE EDGE WAVING DEFECT FORMATION CAUSES Povorov S.V., Volgin D.S.	100
15	МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ Почекуев Е.Н., Шенбергер П.Н., Грунюшкин А.Н. MULTI-CRITERIAL OPTIMIZATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF SHEET STAMPING Pochekuev E.N., Schenberger P.N., Grunyushkin A.N	114
16	МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ В QFORM 9 Стебунов С.А., Харсеев В.Е., Власов Ал. В., Гартвиг А.А. SIMULATION OF SHEET STAMPING PROCESSES	122

	IN QFORM 9 Stebunov S.A., Kharseev V.E., Vlasov A.V., Gartvig A.A.	
17	АВТОМАТИЗАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОЕКТНОЙ СТРАТЕГИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДЕЛЕЙ(ТЭМ) СРЕДСТВАМИ ЯЗЫКА UML С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЭМ Шишкин В. В., Таирова Е. А., Камалов Л. Е. AUTOMATION OF FORMING THE DESIGN STRATEGY OF DIGITAL IN-PROCESS MODELS' BY MEANS OF THE UML LANGUAGE USING THE DESIGN METHOD DIGITAL IN-PROCESS MODELS' Shishkin V.V., Tairova E.A., Kamalov L.E.	130
Секция 3 «ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА»		
18	ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА ИЗ СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Mg-Li ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕПЛОВЫХ ЭФФЕКТОВ Агафонова Д.В., Михеев В.А. THE DEFINITION OF MODES OF ROLLING A SHEET MATERIAL MADE OF AL-MG-LI ALLOY UNDER THE INFLUENCE OF THERMAL EFFECTS Agafonova D. V., Mikheev V. A.	142
19	МЕХАНИЧЕСКОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ УГЛЕРОДОМ Веткасов Н.И., Капустин А.И., Сапунов В.В. MECHANICAL ALLOYING OF ALUMINUM WITH TECHNICAL CARBON Vetkasov N.I., Kapustin A.I., Sapunov V.V.	148
20	ДИАГНОСТИКА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ РАДИОВОЛНОВЫМ МЕТОДОМ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОГО НАГРЕВА Дмитриенко Г.В., Сельцов Е.В. DIAGNOSTICS OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS BY THE RADIO WAVE METHOD UNDER CONDITIONS OF NON-STATIONARY HEATING Dmitrienko G.V., Seltsov E.V.	154
21	ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТУРНОЙ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ХОЛОДНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА	

	Кокорин В.Н., Илюшкин М.В., Подмарев Д.Р., Храмов М.А., Мишов Н.В., Шиллер Н.П. IMPROVING THE EFFICIENCY OF CONTOUR LASER CUTTING IN THE IMPLEMENTATION OF PRELIMINARY COLD DEFORMATION OF SHEET METAL Kokorin V.N., Ilyushkin M.V., Podmarev D.R., Khramov M.A., Mishov N.V., Schiller N.P.	164
22	ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ФОРМАЛИЗАЦИИ АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГНУТОГО ПРОФИЛЯ Марковцев В.А., Гульшин В.А., Филимонов А.В., Филимонов В.И. ON A WAY TO FORMALIZE THE MANUFACTURABILITY ANALYSIS IN ROLLFORMING Markovtsev V.A., Gulshin V.A., Filimonov A.V., Filimonov V.I.	171
23	РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРАВКИ И ПРОДОЛЬНОЙ ГИБКИ В РОЛИКАХ ПРОФИЛЬНЫХ АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ С ПЕРЕМЕННЫМ РАДИУСОМ Попов А.Г., Марковцев В.А., Кадеев А.А. DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR STRAIGHTENING AND LONGITUDINAL BENDING IN ROLLERS OF PROFILE AIRCRAFT PARTS WITH VARIABLE RADIUS Popov A.G., Markovtsev V.A., Kadeev A.A.	179
24	ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПОЛНИТЕЛЕЙ СВЯЗКИ НА СТРУКТУРУ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА, БАКЕЛИЗИРОВАННОГО В МИКРОВОЛНОВОМ ПОЛЕ Сапунов В.В., Веткасов Н.И. STUDY OF THE INFLUENCE OF BINDER FILLERS ON THE STRUCTURE OF AN ABRASIVE TOOL BAKELIZED IN A MICROWAVE FIELD Sapunov V.V., Vetkasov N.I.	184
25	ОДИН ИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ГНУТОЛИСТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ Турундаев К.В. A WAY TO IMPROVE THE QUALITY OF SHEET-BENT PROFILES Turundaev K.V.	189
Секция 4 «ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ В АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ»		

26	СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАРКЕТИНГОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВИАСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДЕРИЯТИЯ: КЛАСТЕРНЫЙ ПОДХОД Жестков Д. В. IMPROVING THE MARKETING ACTIVITIES OF AIRCRAFT ENTERPRISE: CLUSTER APPROACH Zhestkov D. V.	194
27	ВОСПИТАНИЕ БАЗОВЫХ ЖИЗНЕННЫХ ЦЕННОСТЕЙ У КУРСАНТОВ АВИАЦИОННОГО УЧИЛИЩА Клеймёнова Т.Н. EDUCATION OF BASIC LIFE VALUES OF CADETS AVIATION SCHOOL Kleimenova T. N.	198
28	УНИКАЛЬНОЕ И УНИВЕРСАЛЬНОЕ В ФИЛОСОФИИ ЦИФРОВОЙ АВИАКОСМИЧЕСКОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ Марковцева О.Ю. UNIQUE AND UNIVERSAL IN THE PHILOSOPHICAL CULTURE OF DIGITAL AND AEROSPASCE CIVILIZATION Markovtceva O. Yu.	202
29	СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ЗАДАЧАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНЫХ ПЕРЕВОЗОК Махитко В.П., Алякина Е.С. A SYSTEMATIC APPROACH TO ENSURING FLIGHT SAFETY IN THE ORGANIZATION AIR TRANSPORTATION Machitko V.P., Alyakina E.S.	207
30	ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ Махитко В.П., Чекаев Ю.Ю. DIGITAL TRANSFORMATION OF TECHNOLOGY PREPARATION OF PRODUCTION OF PRODUCTS AT THE ENTERPRISE Machitko V.P., Chikaev Y.Y.	213
31	ИННОВАЦИОННАЯ ТОВАРНАЯ СТРАТЕГИЯ АВИАСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ Мухаметзянов К.М. INNOVATIVE PRODUCT STRATEGY OF AIRCRAFT MANUFACTURING ENTERPRISE Mukhametzyanov K.M.	219

БЛАГОДАРИМ ЗА УЧАСТИЕ!



Научное электронное издание

**«НАУКА, ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА АВИАЦИОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КЛАСТЕРА
СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ»**

Материалы V Международной научно-производственной конференции, приуроченной
ко Дню Российской науки
(Россия, г. Ульяновск, 6–7 февраля 2020 г.)

Сборник научных трудов

Отв. секретарь В. В. Марковцева

Дата подписания к использованию 17.06.2020.
ЭИ № 1433. Объем данных 13,2 Мб. Заказ № 381.

Ульяновский государственный технический университет 432027, г. Ульяновск, Сев. Венец, 32.
ИПК «Венец» УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, Сев. Венец, 32.

Тел.: (8422) 778-113
E-mail: venec@ulstu.ru
venec.ulstu.ru